

**IMPLEMENTASI PENGENDALIAN SUHU
PADA PASTEURISASI SANTAN KELAPA DENGAN
BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA2560**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

RACHMAD ANGGA DARUL QUTHNI

NIM. 105060307111001 - 63

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2015

LEMBAR PERSETUJUAN

**IMPLEMENTASI PENGENDALIAN SUHU
PADA PASTEURISASI SANTAN KELAPA DENGAN
BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA2560**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONTROL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

RACHMAD ANGGA DARUL QUTHNI

NIM. 105060307111001 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.

NIP. 196509131 99002 2 001

Ir. Purwanto, M.T.

NIP. 19540424 198601 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**IMPLEMENTASI PENGENDALIAN SUHU
PADA PASTEURISASI SANTAN KELAPA DENGAN
BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA2560**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:
RACHMAD ANGGA DARUL QUTHNI
NIM. 105060307111001 - 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 09 Juli 2015

Dosen penguji

Dr. Ir. Bambang Siswojo, MT

NIP. 19621211 198802 1 001

Ir. Retnowati, MT

NIP. 19511224 198203 2 001

Ir. Moch. Rusli, Dipl.-Ing

NIP. 19630104 198701 1 001

Mengetahui

Ketua Jurusan teknik Elektro

M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19741203 200012 1 001

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan hidayah-Nya skripsi yang berjudul “Implementasi pengendalian suhu pada pasteurisasi santan kelapa dengan berbasis mikrokontroler atmega2560” dapat terselesaikan. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Banyak kendala yang dihadapi penulis dalam penyelesaian skripsi ini. Namun kendala tersebut dapat diatasi berkat bantuan secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada pihak-pihak sebagai berikut.

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ali Mustofa S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Ibu Dr.Ir.Erni Yudaningtyas,M.T.sebagai Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran, motivasi yang telah diberikan, serta waktu yang diluangkan untuk bimbingan.
4. Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku KKDK Teknik Kontrol dan sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran, motivasi yang telah diberikan, serta waktu yang diluangkan untuk bimbingan.
5. Keluarga Bapak H. Adiek Achmad Syafi’i, Ibu Hj. Tuti Gantini, Rachmad Aditiya Warman Dale, Rachmad Musyafa Syafi’i dan Rachmad Akaram Ibrahim atas semangat, kasih sayang, cinta serta doa yang diberikan.
6. Keluarga bapak H. Zainal Abidin Donggo dan keluarga bapak Matraji atas doa dan support,terkhususnya kepada bapak H. Ichwanutaqwa yang memberikan beasiswa sehinga penulis dapat berkuliah.
7. Elina Farihatul Aini atas membantu dalam mengerjakan, semangat, cerita, cinta, dan waktu yang menyenangkan selama menjadi mahasiswa.
8. Angkatan 54 Smansa dan Asrama Apokayan, terkhususnya bagus,edo,arief dan ogi atas waktu, semangat, canda tawa, perjalanan, dan pelajaran hidup yang diberikan.

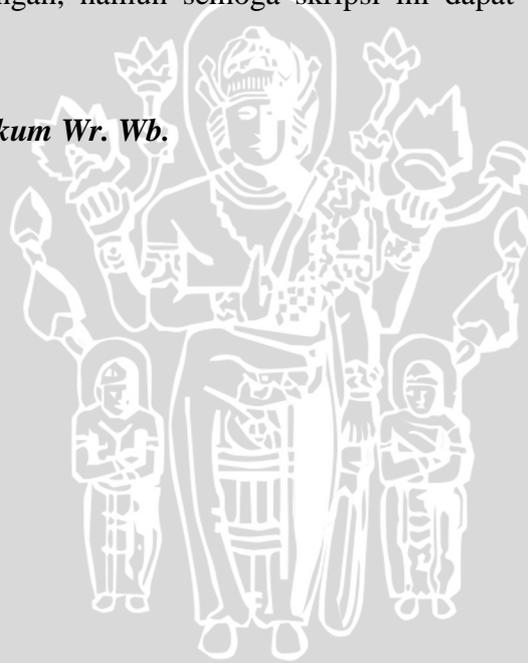
9. Pejuang Sepanjang Masa dan Sahabat Magnet'10, Wahyu, Afiq, Aziz, Fitra, Abu, Adin, Reza, Fery, Hakiki, Nizar, Izul, Zainma, Yudi, Amer, Iqbal, Maman, Gomes, Wahyu, Mbetek, Ferdy, Agwin, Riza, Dayat, Bagus, Toper, Enov, Davin, Rara, Hamu, Rudito, Inal, Rochman, Ika, Ade, Kadek Adi, Radek dan Ulit berbagi ilmu, membantu dalam mengerjakan, semangat, cerita, cinta, canda tawa, pengalaman hidup dan waktu yang menyenangkan selama menjadi mahasiswa dan hingga akhir nanti.
10. Teristimewa MAGNET'10, yang memberikan doa, semangat serta dukungan kepada penulis.

Sekiranya Allah SWT mencatat amalan ikhlas kami dan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Disadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Wassalammualaikum Wr. Wb.

Malang, Juni 2015

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
ABSTRAK.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Santan Kelapa.....	4
2.2 Pasteurisasi.....	4
2.3 Sensor Suhu DS18B20.....	5
2.4 Motor <i>Servo</i>	6
2.5 Motor Direct Current (DC).....	7
2.6 Arduino ATmega 2560	8
2.7 Kontroler	10
2.8 Kontroler Proporsional (P).....	10
2.9 Kontroler Integral (I)	11
2.10 Kontroler Differensial (D)	11
2.11 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)	12
2.12 Metode Perancangan Kontroler PID Menggunakan Metode Ziegler-Nichols.....	13
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Perancangan Sistem.....	17
3.2 Realisasi Pembuatan Sistem.....	17
3.3 Pengujian dan Analisis Data	18
3.4 Pengambilan Kesimpulan	18
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....	19
4.1 Perancangan Sistem.....	19
4.2 Diagram Blok Sistem.....	19
4.3 Spesifikasi Alat.....	20
4.4 Prinsip Kerja Sistem	21
4.5 Perancangan Perangkat Keras	21
4.6 Perancangan Perangkat Lunak	26
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS	27

5.1	Pengujian Sensor DS18B20	27
5.2	Pengujian Sinyal Kontrol Motor DC Servo	30
5.3	Pengujian Motor DC Servo terhadap Suhu	35
5.4	Pengujian Tanpa Kontroler	37
5.5	Pengujian Keseluruhan Sistem	38
5.6	Pengujian Keseluruhan Sistem dengan diberi Gangguan	40
BAB VI		43
PENUTUP		43
DAFTAR PUSTAKA		44



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel Komposisi Santan 4

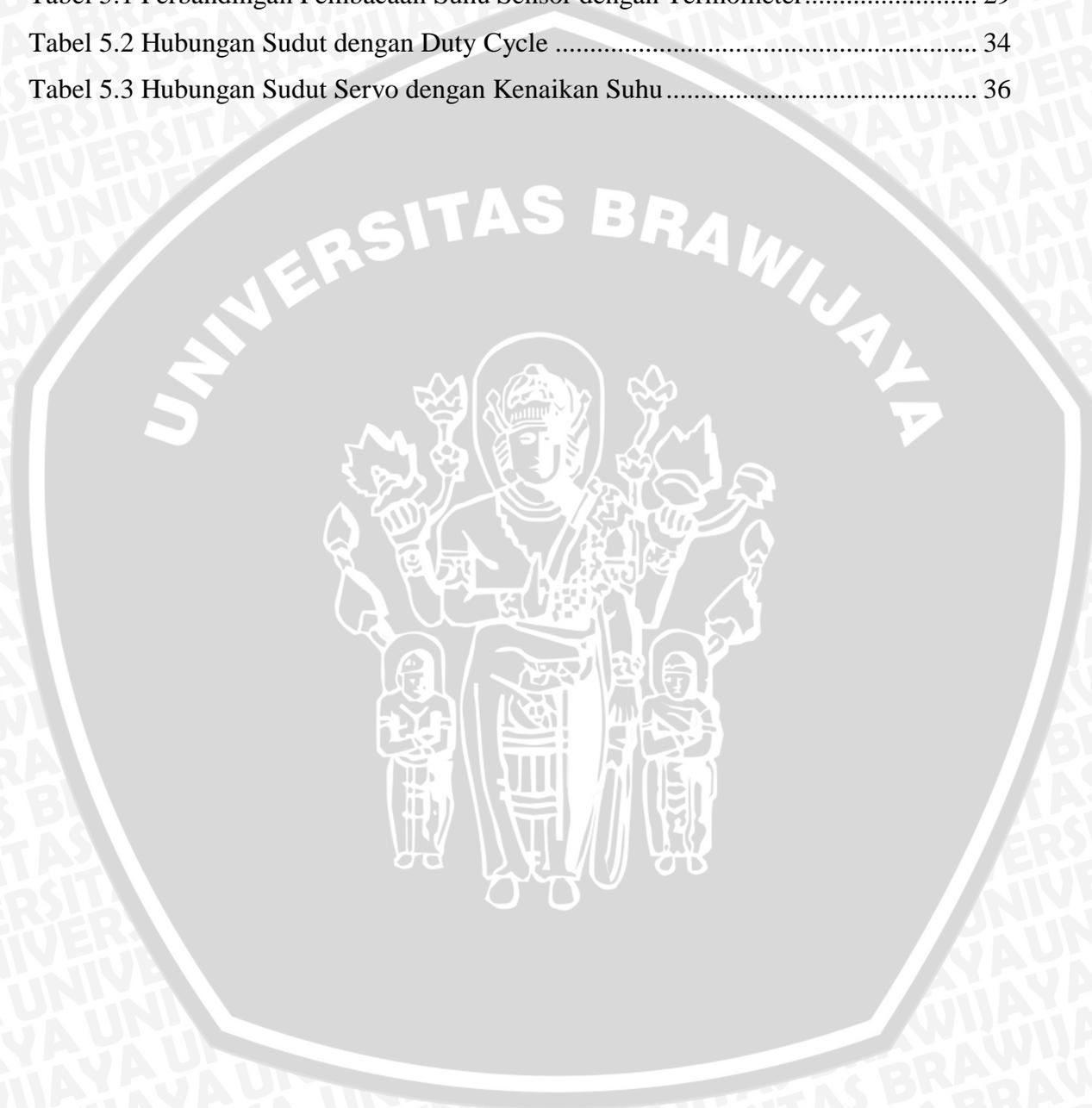
Tabel 2.2 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon *Unit Step* Dari Plan 15

Tabel 4.1 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols 24

Tabel 5.1 Perbandingan Pembacaan Suhu Sensor dengan Termometer..... 29

Tabel 5.2 Hubungan Sudut dengan Duty Cycle 34

Tabel 5.3 Hubungan Sudut Servo dengan Kenaikan Suhu..... 36



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sensor Suhu Tipe DS18B20	6
Gambar 2.2 Motor Servo	7
Gambar 2.3 Sinyal PWM.....	8
Gambar 2.4 Arduino ATmega2560	9
Gambar 2.5 Diagram Blok Kontroler Proporsional	11
Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler Integral.....	11
Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Differensial	12
Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler PID.....	13
Gambar 2.9 Kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan 25% <i>Maximum Overshoot</i> ..	13
Gambar 2.10 Respon Plant Terhadap Masukan Berupa Unit Step.....	14
Gambar 2.11 Kurva Respon yang Berbentuk S.....	14
Gambar 2.12 Sistem Loop Tertutup dengan Kontroler Proporsional	15
Gambar 2.13 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode Pcr	16
Gambar 4.1 Diagram Balok Sistem Pengendalian Suhu.	19
Gambar 4.2 Desain Rancangan Alat.....	20
Gambar 4.3 Grafik Respon Karakteristik Pasteurisasi Santan Kelapa	23
Gambar 4.4 Metode 1 Ziegler-Nichols (Perancangan).....	24
Gambar 4.5 Diagram Alir Keseluruhan Sistem	26
Gambar 5.1 Pengujian Sensor DS18B20.....	28
Gambar 5.2 Rangkaian Pengujian Sensor DS18B20.....	28
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Termometer dengan Sensor DS18B20	30
Gambar 5.4 Rangkaian untuk Menguji Motor DC <i>Servo</i>	31
Gambar 5.5 Sinyal Kontrol dan Parameter Motor Servo Sudut 0°	32
Gambar 5.6 Sinyal Kontrol dan Parameter Motor Servo Sudut 50°.....	32
Gambar 5.7 Sinyal Kontrol dan Parameter Motor Servo Sudut 100°	33
Gambar 5.8 Sinyal Kontrol dan Parameter Motor Servo Sudut 150°.....	33
Gambar 5.9 Sinyal Kontrol dan Parameter Motor Servo Sudut 180°	34
Gambar 5.10 Grafik Hubungan Sudut dengan Duty Cycle	35
Gambar 5.11 Hubungan Derajat Motor Servo dengan Suhu.....	36
Gambar 5.12 Respon Grafik Sistem Tanpa Kontroler.....	38
Gambar 5.13 Pengujian Keseluruhan Sistem	39
Gambar 5.14 Pengujian Keseluruhan Sistem	39

Gambar 5.15 Grafik Respon dengan Nilai Kp,Ki, dan Kd 40

Gambar 5.16 Grafik Respon dengan Nilai Kp,Ki, dan Kd 41

Gambar 5.17 Respon Sistem yang Telah Diberi Gangguan 42



ABSTRAK

Rachmad Angga Darul Quthni, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2015, *Implementasi Pengendalian Suhu Pada Pasteurisasi Santan Kelapa Dengan Berbasis Mikrokontroler ATmega2560*, Dosen Pembimbing: Dr.Ir.Erni Yudaningtyas,M.T, Ir. Purwanto, M.T

Abstrak--- Kelapa merupakan tanaman yang berguna bagi manusia. Salah satu hasil olahan kelapa adalah santan. Santan adalah emulsi minyak di dalam air yang berwarna putih. Tingginya kadar air, lemak dan protein membuat santan lebih cepat rusak, sehingga dibutuhkanlah sebuah cara untuk mengawetkan santan. Maka digunakanlah metode pasteurisasi agar dapat mengawetkan santan. Pasteurisasi dapat tercapai apabila tercapainya energi panas untuk menginaktivasi mikroorganisme pada sesuatu.

Penelitian ini difokuskan pada pengendalian suhu dalam proses pasteurisasi santan kelapa pada suhu 75° selama 31,2 menit dengan berbasis ATmega2560, dan kontroler proposional integral differensial, sehingga diperoleh suatu desain pengendalian suhu yang tepat untuk melakukan proses pasteurisasi pada santan kelapa.

Perancangan dan pembuatan sistem pengendalian suhu pada alat pasteurisasi santan kelapa pada penelitian ini berhasil dilakukan dengan menggunakan metode satu *Ziegler-Nichols*, didapatkan nilai parameter yang sesuai untuk sistem yaitu $K_p=6,81$, $K_i=0,091$ dan $K_d=125,9$. Sistem pasteurisasi santan kelapa ini dapat mencapai set point 75° C dan *settling time* 98 detik.

Kata Kunci— Pasteurisasi Santan Kelapa, Pengendalian Suhu, Kontroler PID.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman kelapa merupakan tanaman yang sangat berguna bagi manusia karena keseluruhan buahnya dapat dijadikan bahan pangan maupun non-pangan. Tanaman kelapa terdapat hampir di seluruh wilayah Indonesia. Mulai dari perkebunan rakyat maupun besar. Buah kelapa di Indonesia dimanfaatkan sebagai kopra, kelapa sayur, dan minyak kelapa. Sebagian kelapa sayur digunakan dalam bentuk santan.

Santan adalah emulsi minyak dalam air yang berwarna putih, yang diperoleh dengan cara memeras daging kelapa segar yang telah diparut atau dihancurkan dengan atau tanpa penambahan air (Hagenmeier, 1973). Santan pada umumnya digunakan sebagai bahan pembuatan pangan. Santan memiliki kandungan air, lemak dan protein yang cukup tinggi.

Di pasaran santan awet masih terbatas ragamnya dan hanya bisa dilakukan oleh industri besar dengan menggunakan teknologi *aseptic packaging*, hal ini tidak dapat dilakukan oleh masyarakat pedesaan karena pemanasan yang dilakukan secara *Ultra High Temperature* (UHT) yang membutuhkan suhu sebesar 135°C, sehingga membuat banyak dari konsumen santan kesusahan dalam menyimpan santan. Tingginya kadar air, lemak dan protein menyebabkan santan sangat mudah rusak. Santan yang tidak diberi perlakuan akan cepat rusak walaupun disimpan pada suhu dingin, hal ini disebabkan karena waktu generasi mikroba pada santan sangat cepat yakni 232 menit pada suhu 10°C dan 44 menit pada suhu 30°C (Seow dan Gwee, 1997).

Dengan melakukan pasteurisasi pada santan, menjadi pilihan karena praktis dan murah. Keberhasilan dari suatu proses pasteurisasi adalah tercapainya energi panas untuk mencegah berkembangnya mikroorganisme pada suatu produk. Saat melakukan pasteurisasi pada santan suhu optimal yang baik adalah 75°C selama 31,2 menit (Prihartini, 2008). Karena pada suhu ini mikroba pada santan dapat dikurangi tanpa merusak kandungan nutrisi. Setelah dilakukan pasteurisasi, santan akan terjaga keawetannya selama 4 minggu pada suhu 4°C (L.L.W.C. Yalagama, 2008).

Penelitian ini membahas tentang pengendalian proses pasteurisasi pada santan kelapa dengan cara mengendalikan motor servo pada dimmer yang terdapat pada kompor untuk mendapatkan suhu yang sesuai. Kompor tersebut menjaga kestabilan suhu dalam panci. Proses pasteurisasi santan kelapa ini berbasis Mikrokontroler Arduino ATmega2560, kontrol PID digunakan pada sistem kontrol pengendalian suhu saat proses pasteurisasi santan kelapa dalam pengaturan dimmer sesuai dengan suhu pasteurisasi santan kelapa yang sesuai. Digunakannya kontrol PID pada penelitian ini dikarenakan membutuhkan respon yang cepat agar suhu yang diinginkan dapat terjaga. Diharapkan dengan menggunakan Kontrol PID berbasis Mikrokontroler Arduino ATmega2560, suhu pasteurisasi santan dapat dikendalikan dengan sesuai

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dalam latar belakang, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang suatu sistem pengendalian suhu yang sesuai?
2. Bagaimana cara menghasilkan respon suhu pasteurisasi santan dengan menggunakan Kontrol PID?

1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya objek pengkajian maka perlu dilakukan pembatasan masalah agar pembahasan lebih terfokus pada rumusan masalah. Adapun batasan masalah pada skripsi ini antara lain:

1. Suhu pada proses pasteurisasi dibatasi pada 75° celcius dengan rentang waktu 31.2 menit.
2. Pembahasan ditekankan pada pengendalian suhu pada sistem dengan menggunakan Kontrol PID berbasis Mikrokontroler Arduino ATmega2560.
3. Perancangan dan pembuatan alat pengendalian suhu pada proses pasteurisasi santan yang digunakan adalah miniatur dengan desain sendiri.
4. Sensor suhu yang digunakan adalah DS18B20 dengan rentang 0-125° C
5. Pembahasan mengenai reaksi fisika, mekanik, model matematis, reaksi kimia, dan rangkaian elektronika, tidak dibahas secara mendalam

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengendalian suhu pada sistem pasteurisasi santan kelapa dengan implementasi Kontrol PID berbasis Mikrokontroler Arduino ATmega2560. Dan menghasilkan respon yang sesuai sehingga menghasilkan santan kelapa yang terbaik.

1.5 Sistematika Pembahasan

Skripsi ini terdiri dari enam bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat.

BAB III Metode Penelitian

Membahas metode penelitian dan perencanaan alat.

BAB IV Perancangan dan Pembuatan Alat

Membahas perancangan alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, prinsip kerja, dan pembuatan alat. Setelah itu, bagaimana penerapannya dalam sistem secara keseluruhan.

BAB V Pengujian dan Analisis

Membahas hasil pengujian sistem yang sudah dibuat dan analisis hasil yang diperoleh.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Membahas kesimpulan penelitian dan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang akan menunjang perancangan pengendalian suhu pada proses pasteurisasi santan berbasis Arduino Mega.

2.1 Santan Kelapa

Santan adalah cairan berwarna putih susu yang diperoleh dengan cara pengepresan parutan daging kelapa dengan atau tanpa penambahan air, yang akan mempengaruhi rupa santan terutama komposisi kimia santan. Santan dapat berwarna putih susu karena partikelnya berukuran lebih besar dari satu mikron (Kirk dan Othmer, 1950). Komposisi santan kelapa dapat dilihat dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1. Tabel Komposisi Santan

Komposisi	Satuan	Santan murni	Santan dengan penambahan air
Kalori	Kal	324	122
Protein	g	4,2	2
Lemak	g	34,3	10
Karbohidrat	g	5,6	7,6
Kalsium	mg	14	25
Phosphor	mg	1,9	0,1
Vitamin A		0	0
Thiamin		0	0
Air	g	54,9	80
Bagian yang dapat dimakan	g	100	100

Santan merupakan emulsi lemak dalam air dengan ukuran partikel lebih besar dari 1 μm sehingga berwarna putih susu (Kirk dan Othmer, 1950).

2.2 Pasteurisasi

Pasteurisasi adalah salah satu cara pengawetan panas dimana pemanasan dilakukan secara minimum untuk membunuh semua mikroorganisme patogen (Herro, 1980). Prinsip pasteurisasi adalah pemanasan produk dalam waktu yang singkat sampai mencapai kombinasi suhu dan waktu tertentu yang cukup untuk membunuh semua mikroorganisme patogen, tetapi hanya menyebabkan kerusakan

sekecil mungkin terhadap produk akibat panas (Woodroof, 1979).

Biasanya pasteurisasi dipadukan dengan teknik penyimpanan pada suhu rendah yang bertujuan untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme termofilik yang suhu pertumbuhan minimumnya cukup tinggi. Produk hasil pasteurisasi bila disimpan pada suhu kamar hanya bertahan 1 sampai 2 hari sedang jika disimpan pada suhu rendah dapat tahan 1 minggu. Pasteurisasi memiliki tujuan:

1. Untuk membunuh bakteri patogen, yaitu bakteri yang berbahaya karena dapat menimbulkan penyakit pada manusia.
2. Untuk memperpanjang daya simpan bahan atau produk
3. Dapat menimbulkan citarasa yang lebih baik pada produk

Metode pasteurisasi yang umum digunakan adalah:

1. Pasteurisasi dengan suhu tinggi dan waktu singkat (*High Temperature Short Time/HTST*), yaitu proses pemanasan selama 15 – 16 detik pada suhu 71,7 – 75⁰C dengan alat *Plate Heat Exchanger*.
2. Pasteurisasi dengan suhu rendah dan waktu lama (*Low Temperature Long Time*) yakni proses pemanasan pada suhu 61⁰C selama 30 menit.
3. Pasteurisasi dengan suhu sangat tinggi (*Ultra High Temperature*) yaitu memanaskan pada suhu 131⁰C selama 0,5 detik. Pemanasan dilakukan dengan tekanan tinggi untuk mencegah terjadinya pembakaran produk pada alat pemanas.

Perlakuan panas merupakan proses yang efektif untuk memperpanjang masa simpan santan kelapa. Menurut Seow dan Gwee (1997), pengawetan santan jangka pendek dapat dicapai melalui proses pasteurisasi pada suhu 75⁰C selama 20 menit, sedangkan untuk penyimpanan jangka panjang dapat dicapai dengan proses *sterilisasi* yang menggunakan rezim panas lebih tinggi (suhu 109-121⁰C) pada kemasan kaleng atau botol gelas. Namun pada pemanasan santan dengan suhu tinggi (80⁰C atau lebih) protein mengalami penurunan kualitas yang menyebabkan ketidakstabilan emulsi santan (Peamprasart dan Chiewchan, 2006).

2.3 Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu merupakan salah satu komponen elektronika yang dapat menangkap perubahan temperatur lingkungan lalu mengkonversi ke besaran listrik yang dapat dengan mudah dianalisis nilainya.. Terdapat empat macam

sensor suhu antara lain; Thermokopel, Thermistor, *Resistance Temperature Detectors* (RTD), dan IC LM 35. Tentunya tiap jenis alat tersebut mempunyai fungsi dan cara kerja yang berbeda-beda.

Sensor suhu DS18B20 yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1 merupakan sensor yang memiliki kemampuan tahan air (*waterproof*). DS18B20 cocok digunakan untuk mengukur suhu pada tempat yang sulit atau basah. Karena output data sensor suhu ini merupakan data digital, maka tidak perlu khawatir terhadap degradasi data ketika menggunakan untuk jarak yang jauh. DS18B20 menyediakan 9 hingga 12-bit (yang dapat dikonfigurasi) data.

Karena setiap sensor DS18B20 memiliki silicon serial number yang unik, maka beberapa sensor DS18B20 dapat dipasang dalam 1 bus. Hal ini memungkinkan pembacaan suhu dari berbagai tempat. Meskipun secara datasheet sensor ini dapat membaca bagus hingga 125°C , namun dengan penutup kabel dari PVC disarankan untuk penggunaan tidak melebihi 100°C .



Gambar 2.1 Sensor Suhu Tipe DS18B20

2.4 Motor Servo

Motor servo adalah motor dengan sistem *closed feedback* yang berarti posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada dalam motor servo. Motor ini terdiri atas sebuah motor, serangkaian *internal gear*, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut putaran servo. Sedangkan sudut sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor. Gambar 2.2 merupakan gambar motor servo.



Gambar 2.2 Motor Servo (polulu.com)

Motor servo mampu bekerja dua arah yaitu *clockwise* (CW) atau searah jarum jam dan *counter clockwise* (CCW) atau berlawanan arah jarum jam. Arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan dengan memberikan pengaturan *duty cycle* sinyal *pulse width modulation* (PWM) pada bagian pin kontrolnya. Secara umum terdapat dua jenis motor servo, yaitu:

1. Motor Servo *Standard* 180°

Motor servo jenis ini merupakan motor yang hanya mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) dan mempunyai defleksi masing-masing sudut mencapai 90° sehingga total defleksi sudut dari kanan – tengah – kiri adalah 180°.

2. Motor Servo *Continuous*

Motor servo jenis ini mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) dan tanpa batasan defleksi sudut putar (dapat berputar secara kontinyu) sehingga motor ini berputar 360°.

Motor Servo yang digunakan dalam penelitian ini adalah Micro Servo GWS 2BBMG. Pemilihan servo tipe tersebut karena memiliki torsi yang cukup besar dengan catu daya 5 Volt dan putaran sudut maksimal 270°.

2.5 Motor Direct Current (DC)

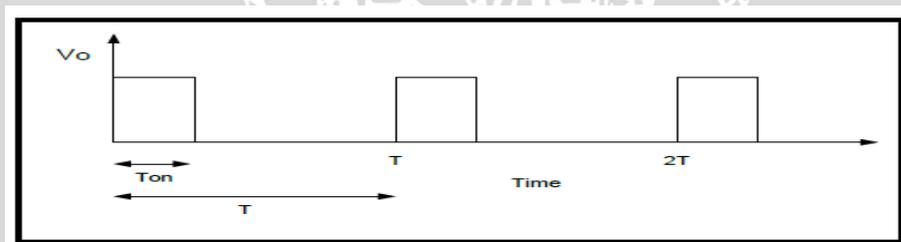
Motor DC merupakan salah satu penggerak utama yang banyak digunakan di industri masa kini. Motor DC merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar *impeller* pompa, fan atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di

rumah (mixer, bor listrik, fan angin) dan di industri. Prinsip kerja motor DC sesuai dengan hukum kemagnetan Lorenz, yaitu membangkitkan fluksi magnet pada suatu konduktor berarus dalam medan magnet sehingga timbul gaya gerak listrik (GGL) induksi. Setiap arus yang mengalir melalui sebuah konduktor akan menimbulkan medan magnet (Fathurohim. M., 2010).

Metode *Pulse Width Modulation* (PWM) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatan dari motor DC. Kecepatan motor DC tergantung pada besarnya *duty cycle* yang diberikan pada motor DC tersebut. Pada sinyal PWM, frekuensi sinyal konstan sedangkan *duty cycle* bervariasi dari 0%-100%. Dengan mengatur *duty cycle* akan diperoleh keluaran yang diinginkan. (Alfarisi.R., 2011). *Duty cycle* adalah besarnya sinyal kontrol yang diberikan pada motor. Persamaan untuk perhitungan *duty cycle* ditunjukkan dalam Persamaan 2.1 dengan T_{on} adalah periode logika tinggi, dan T adalah periode keseluruhan.

$$Duty\ cycle = T_{on}/T \times 100\% \quad (2.1)$$

Sinyal PWM secara umum ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sinyal PWM

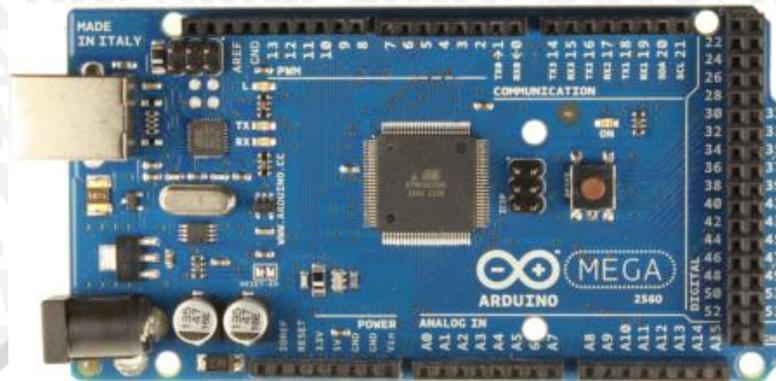
Keterangan:

- T_{on} = Periode logika tinggi
- T = Periode keseluruhan
- V_o = Amplitudo

2.6 Arduino ATmega 2560

Arduino ATmega 2560 seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.4 adalah board arduino Mega versi terbaru, yang merupakan perbaikan dari board terdahulunya yaitu arduino Mega 1280. Arduino ATmega 2560 memiliki 54 digital *input / output* (dengan 14 pin yang dapat digunakan sebagai *output Pulse Width Modulation* (PWM), 16 input analog, 4 *Universal Asynchronous Receiver /*

Transmitter (UART), kristal 16 MHz osilator, koneksi USB, jack listrik, *header in-circuit serial programming* (ICSP), dan tombol reset.



Gambar 2.4 Arduino ATmega2560

Arduino Atmega2560 dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber daya akan dipilih secara otomatis. Eksternal (non-USB) daya dapat berasal baik dari adaptor AC-DC atau baterai..

Modul dapat beroperasi pada pasokan eksternal 6 sampai 20 volt. Jika disertakan dengan kurang dari 7V, pin 5V dapat menyediakan kurang dari lima volt dan modul mungkin tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan merusak modul. Kisaran yang disarankan adalah 7 sampai 12 volt. ATmega2560 memiliki 256 KB memori *flash* untuk menyimpan kode dengan 8 KB digunakan untuk *bootloader*, 8 KB *Static Random Access Memory* (SRAM) dan 4 KB *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* (EEPROM).

Masing-masing dari 54 digital pin pada ATmega2560 dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, menggunakan *pinMode*, *digitalWrite*, dan *digitalRead*. Dengan 14 pin yang dapat digunakan sebagai *output Pulse Width Modulation* (PWM) menyediakan 8-bit PWM *output* dengan fungsi *analogWrite*.

Arduino ATmega2560 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega2560 ini menyediakan empat *UART hardware* untuk komunikasi serial. *Light-Emitting Diode* (LED) akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui ATmega8U2/ATmega16U2 koneksi Chip dan USB ke komputer.

2.7 Kontroler

Salah satu komponen sistem pengaturan yang berfungsi mengolah sinyal umpan balik dan sinyal masukan acuan (*setpoint*) atau sinyal *error* menjadi sinyal kontrol. Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Di samping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolak ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan (Ogata K., 1997). Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespons *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*over shoot*).

Suatu sistem dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan *steady state* di mana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika *output*nya beresilasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan. Karena suatu sistem pengendalian biasanya melibatkan penyimpanan energi maka *output* sistem ketika diberi suatu *input*, tidak dapat mengikuti *input* secara serentak, tapi menunjukkan respon transien berupa suatu osilasi teredam sebelum mencapai *steady state*.

Dalam sistem pengendalian terdapat 2 macam loop:

1. Pengendalian dengan loop terbuka

Sistem kontrol loop terbuka adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi pada sistem kontrol loop terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpan balikan untuk dibandingkan dengan masukan.

2. Pengendalian dengan loop tertutup

Sistem kontrol loop tertutup adalah sistem kontrol yang keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Disebut juga sistem kontrol yang menggunakan umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem.

2.8 Kontroler Proporsional (P)

Kontroler proporsional adalah sebuah kontroler yang memiliki karakteristik mempercepat respon. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ ditunjukkan pada persamaan 2.2:

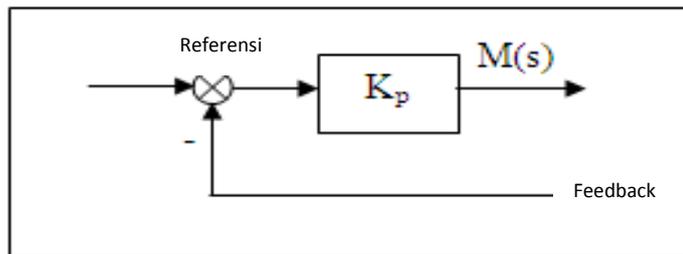
$$m(t) = K_p e(t) \quad (2.2)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace ditunjukkan pada persamaan 2.3

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \tag{2.3}$$

Dimana K_p adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K., 1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan pada Gambar 2.5.



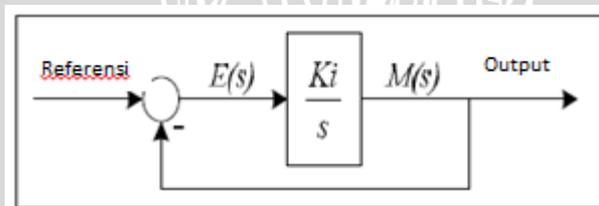
Gambar 2.5 Diagram Blok Kontroler Proporsional (Ogata K., 1997)

2.9 Kontroler Integral (I)

Kontroler integral memiliki kemampuan untuk mengurangi *offset* yang ditinggalkan oleh kontroler proporsional. Harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$. Persamaan kontroler K_i ditunjukkan dalam persamaan 2.4. (Ogata K., 1997).

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \tag{2.4}$$

K_i adalah penguatan integral. Gambar 2.6 menunjukkan diagram blok kontroler integral.



Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler Integral (Ogata., 1997)

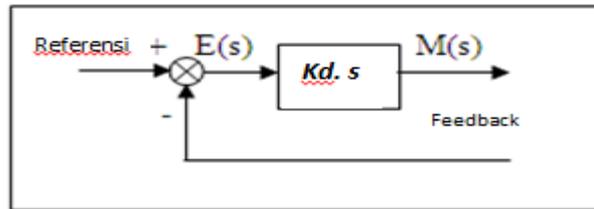
2.10 Kontroler Differensial (D)

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respons transien sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K., 1997). Kontroler differensial tidak dapat mengeluarkan *output* bila tidak ada

perubahan *input*, selain itu kontroler differensial tidak dapat digunakan untuk proses yang mengandung *noise*. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ dinyatakan pada persamaan 2.5 :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kd \cdot s \tag{2.5}$$

Kd adalah penguatan diferensial. Gambar 2.7 menunjukkan diagram blok kontroler differensial.



Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Differensial (Ogata K., 1997)

2.11 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing dari tiga aksi kontrol tersebut. Masing-masing kontroler P, I, maupun D berfungsi untuk mempercepat reaksi sistem, menghilangkan *offset*, dan mendapatkan energi ekstra ketika terjadi perubahan *load*.

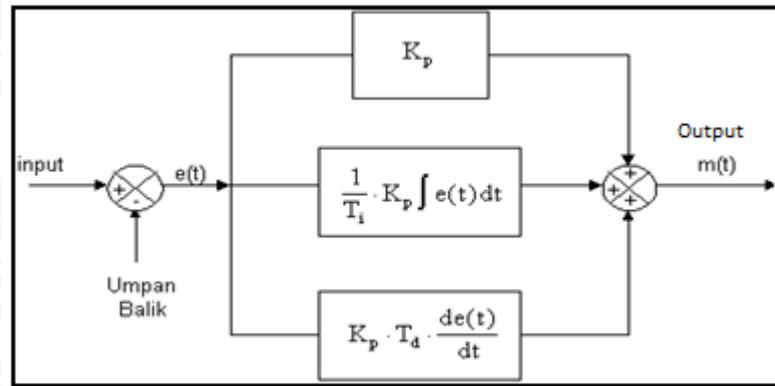
Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan dalam persamaan 2.6 :

$$m(t) = Kp \cdot e(t) + \frac{Kp}{Ti} \cdot e(t)dt + Kp \cdot Td \frac{de(t)}{dt} \tag{2.6}$$

Dalam transformasi Laplace dinyatakan dalam persamaan 2.7 :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kp \left(1 + \frac{1}{Ti \cdot s} + Td \cdot s \right) \tag{2.7}$$

Ti adalah waktu integral dan Td adalah waktu derivatif. Gambar 2.8 menunjukkan diagram blok kontroler PID.

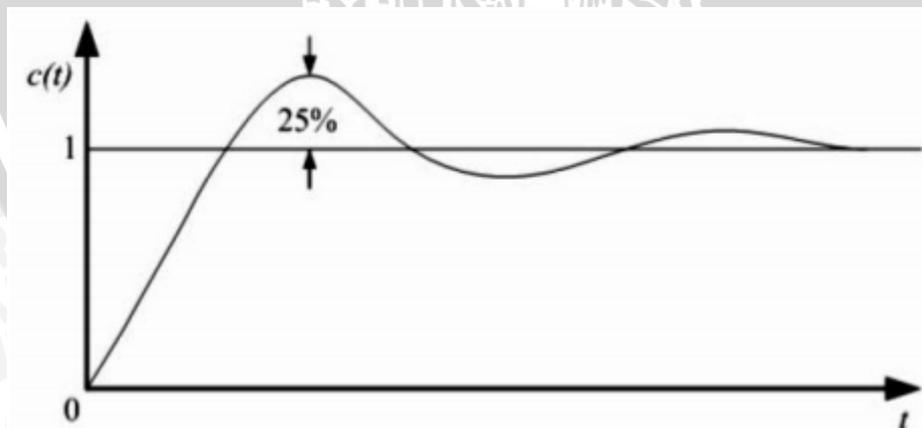


Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler PID (Ogata K., 1997)

2.12 Metode Perancangan Kontroler PID Menggunakan Metode Ziegler-Nichols

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivative T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari plant yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plan. (Ogata, K., 1997)

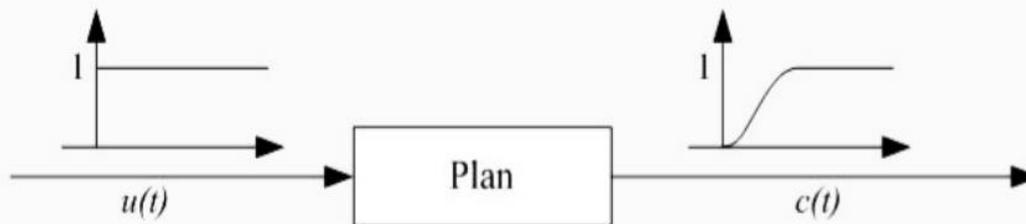
Terdapat dua metode yang disebut dengan aturan penalaan Ziegler-Nichols, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai 25% *maximum overshoot* pada respon unit step, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan 25% *Maximum Overshoot* (Ogata, K., 1997)

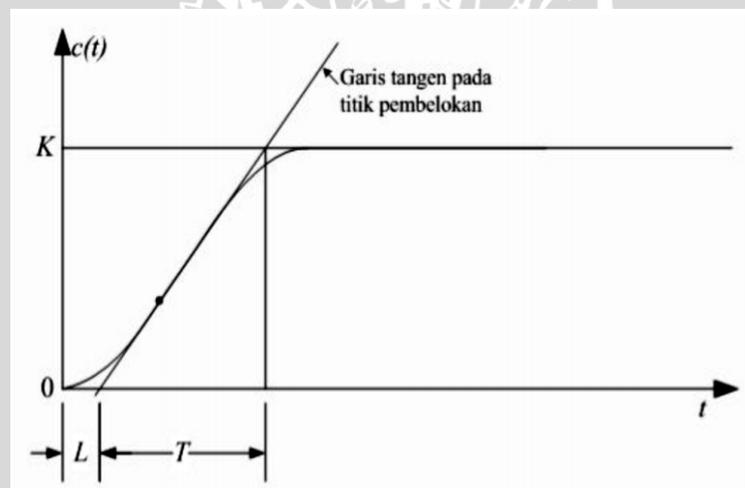
1. Metode Pertama

Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari plan dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa *unit step*, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Respon Plant Terhadap Masukan Berupa Unit Step (Ogata, K. 1997)

Jika dalam plan tersebut terdapat integrator atau dominan *complex-conjugate poles*, maka kurva respon unit step berbentuk seperti huruf S, seperti dalam Gambar 2.11 jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku. (Ogata, K., 1997).



Gambar 2.11 Kurva Respon yang Berbentuk S (Ogata, K. 1997)

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.12 Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan 2.8:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \tag{2.8}$$

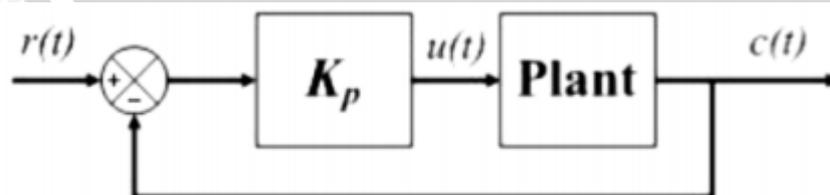
Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step Dari Plan

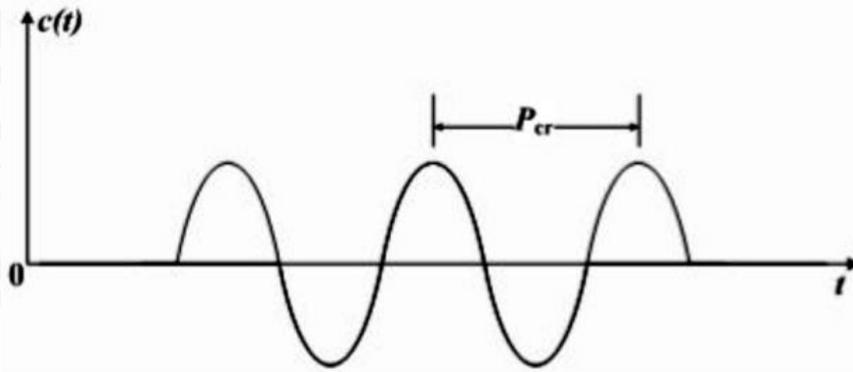
Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

2. Metode Kedua

Dalam metode kedua Ziegler-Nichols, mula-mula yang dilakukan adalah membuat $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , di sini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan (Jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai K_p manapun yang telah diambil, maka metode ini tidak berlaku). Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan. Diagram blok sistem loop tertutup dengan kontroler proporsional dapat dilihat dalam Gambar 2.12. dan untuk osilasi berkesinambungan dengan periode P_{cr} dapat dilihat dalam gambar 2.13. Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i , T_d dan berdasarkan rumus yang diperlihatkan dalam Tabel 2.2 (Ogata, K., 1997).



Gambar 2.12 Sistem Loop Tertutup dengan Kontroler Proporsional (Ogata, K., 1997)



Gambar 2.13 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode P_{cr} (Ogata, K., 1997)

Tabel 2.3 Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan Critical Gain K_{cr} dan Critical

Type Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	0,5 K_{cr}	∞	0
PI	0,45 K_{cr}	$\frac{1}{1,2} P_{cr}$	0
PID	0,60 K_{cr}	0,5 P_{cr}	0,125 P_{cr}



BAB III METODE PENELITIAN

Dalam pencapaian tujuan skripsi ini dibutuhkan metode penelitian dalam pelaksanaannya, berikut ini adalah metode yang digunakan dalam penelitian :

3.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektrik serta pemrogramannya. Hal ini dimaksudkan agar pengendalian suhu pada sistem pasteurisasi santan dapat berjalan sesuai deskripsi awal yang telah direncanakan.

Perancangan sistem yang dilakukan meliputi :

1. Penentuan pemanas dan pendingin yang digunakan untuk menjaga suhu.
2. Penentuan motor DC servo yang digunakan untuk mengatur besarnya sudut *dimmer* pada kompor.
3. Penentuan rangkaian elektrik yang digunakan meliputi :
 - Rangkaian motor DC servo.
 - Rangkaian motor DC.
 - Rangkaian relay kips.
 - Rangkaian sensor DS18B20
4. Penentuan spesifikasi sistem, meliputi:
 - Penentuan deskripsi kerja sistem keseluruhan,
 - Kontroler proporsional integral diferensial dan kontroler ON OFF, serta rangkaian elektronik pendukung,
 - Perancangan program pada *Arduino ATmega2560* sebagai pusat pengontrolan.

3.2 Realisasi Pembuatan Sistem

Untuk merealisasikan alat yang telah dirancang sebelumnya, tahapan-tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Penyempurnaan konstruksi panci dengan pengaduk dan motor DC servo sebagai pengatur sudut putaran *dimmer* kompor.

2. Pembuatan rangkaian elektrik meliputi rangkaian sensor DS18B20, rangkaian kipas, rangkaian motor DC servo dan rangkaian motor DC.
3. Perancangan program pada *software Arduino ATmega2560* sebagai pusat pengontrol dengan kontrol PID .

3.3 Pengujian dan Analisis Data

Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dan program *software* sudah dibuat, maka diadakan pengujian dan analisis alat. Performansi sistem yang diinginkan dari pengendalian temperatur ini adalah respon sistem tanpa *overshoot* dengan *error steady state* seminimal mungkin.

Pengujian dan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pengujian setiap blok rangkaian.
2. Pengujian pada sensor yang digunakan.
3. Penggabungan semua blok rangkaian menjadi sebuah sistem.
4. Pengujian alat secara keseluruhan.
5. Evaluasi dan analisis pengujian sistem yang didapat.

3.4 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang didapat dari hasil pengujian sistem secara keseluruhan. Apabila hasil yang didapatkan sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka sistem kendali tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya untuk disempurnakan.

BAB 1V PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perancangan dan pembuatan sistem pengendali suhu pada alat pasteurisasi. Pada dasarnya perancangan alat meliputi perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

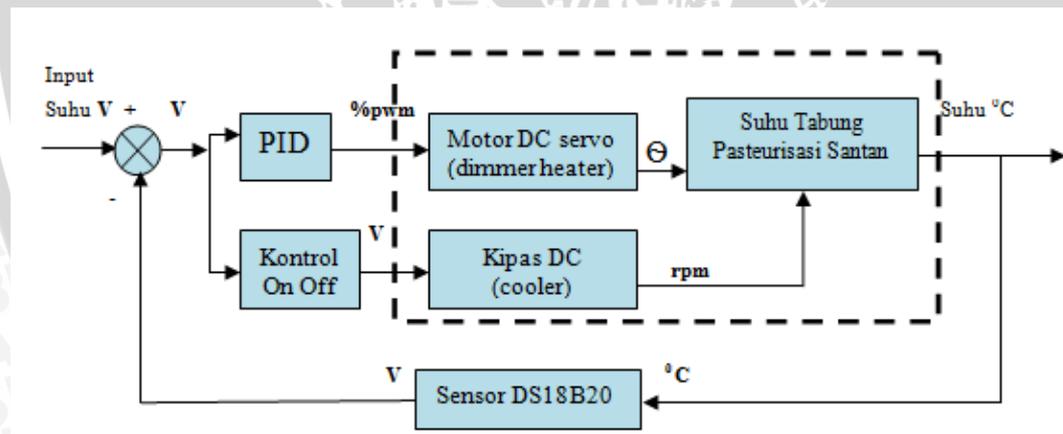
4.1 Perancangan Sistem

Perancangan alat ini dilakukan secara bertahap dalam bentuk blok sehingga akan memudahkan dalam analisis pada setiap bloknnya maupun secara keseluruhan. Perancangan ini terdiri atas:

1. Perancangan perangkat keras meliputi kompor, sensor DS18B20, relay 5v, kipas 12v, motor DC dan motor DC *servo*.
2. Pembuatan dan penyelesaian program perangkat lunak (perangkat algoritma PID pada software Arduino 1.5.7).

4.2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Balok Sistem Pengendalian Suhu.

Keterangan diagram blok dalam Gambar 4.1 adalah sebagai berikut :

- *Set point* sistem adalah suhu 75° Celcius.
- Pusat pengendalian sistem adalah mikrokontroler ATmega2560 yang memberikan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) pada motor DC *servo*.

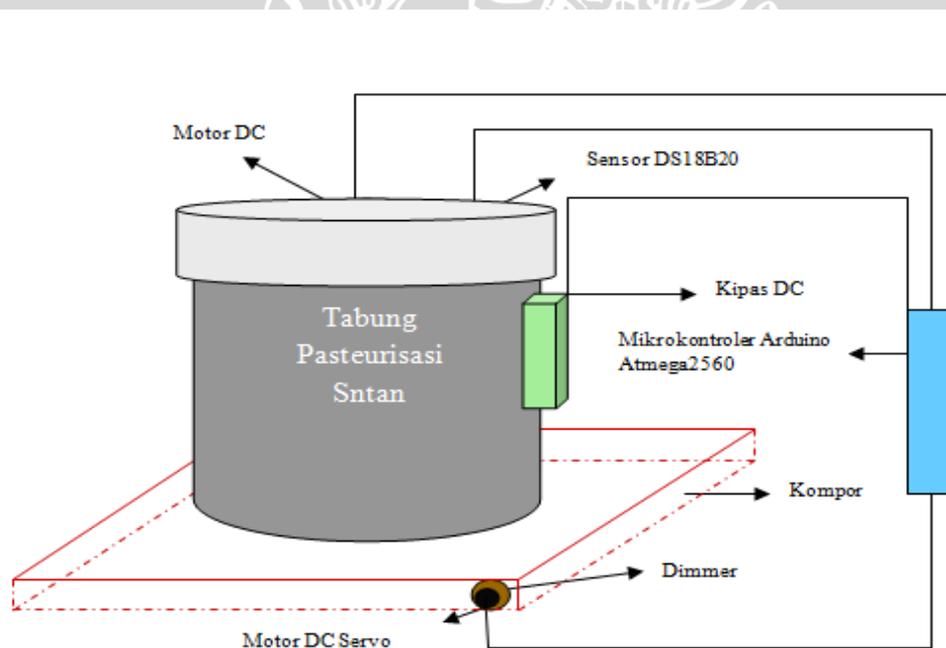
- Sinyal dari motor *servo* tadi kemudian menggerakkan *dimmer* pada kompor sehingga mengatur panas yang sesuai dengan *setpoint*.
- Sensor DS18B20 digunakan sebagai umpan balik sistem.
- Gangguan pada sistem adalah pada suhu lingkungan yang tidak tentu.

4.3 Spesifikasi Alat

Spesifikasi sistem pengendalian suhu pada alat pasteurisasi santan kelapa menggunakan kontrol PID berbasis ATmega2560 adalah sebagai berikut.

1. Tabung pasteurisasi santan kelapa berupa sebuah tabung *stainless steel* dengan diameter 18 cm dan tinggi 16 cm.
2. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu DS18B20 pada rentang suhu 0° hingga 125° Celcius.
3. Pengaturan panas kompor ditentukan dengan putaran *dimmer* yang diatur besar sudutnya oleh motor DC *servo*.
4. Pusat pengendali sistem adalah ATmega2560.

Skema perancangan sistem dapat dilihat dalam Gambar 4.2 :



Gambar 4.2 Desain Rancangan Alat

4.4 Prinsip Kerja Sistem

Cara kerja sistem adalah sebagai berikut:

- Catu daya yang digunakan terdiri atas 2 macam, yaitu:
 1. Catu daya 5V DC digunakan sebagai catu daya bagi motor DC dan motor DC *servo*.
 2. Catu daya +/- 12V DC digunakan sebagai catu daya bagi kipas angin untuk sistem pendingin.
- DS18B20 merupakan sensor suhu yang memiliki keluaran digital sehingga bisa langsung dihubungkan ke mikrokontroler ATmega2560 dengan tambahan resistor 4,2 k Ω dengan rentang suhu 125° hingga -125° C.
- Mikrokontroler ATmega2560 menerima sinyal digital dari komputer mengolahnya sehingga menghasilkan sinyal digital berupa PWM.
- Sinyal digital dari mikrokontroler ATmega2560 digunakan untuk mengaktifkan sensor DS18B20 dan kipas angin melalui relay 5V.
- PWM keluaran dari mikrokontroler ATmega2560 digunakan sebagai sinyal kontrol bagi motor DC *servo*.
- Motor DC *servo* bergerak sesuai dengan PWM yang diterima pada pin kontrolnya. Besarnya sudut putaran motor DC *servo* tersebut akan menggerakkan *dimmer* pada kompor.

4.5 Perancangan Perangkat Keras

Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat keras meliputi sensor DS18B20, rangkaian motor DC *servo*, rangkaian motor DC, dan rangkaian relay kipas. Di bawah ini merupakan penjelasan masing-masing perancangan perangkat keras dalam pasteurisasi santan kelapa pada penelitian ini.

4.5.1 Perancangan Sensor DS18B20

Berdasarkan teori yang didapat pada *datasheet* DS18B20 termasuk ke dalam sensor digital temperatur yang mana dapat di catu dengan tegangan 3 – 5 V dan harus diberi resistor 4,7 k Ω sebagai pembatas arus yang dibutuhkan.

4.5.2 Perancangan Motor DC Servo dan Motor DC

Pada dasarnya motor DC *servo* dan motor DC mendapat sinyal PWM dengan tegangan maksimal 6 V. Arduino Atmega2560 merupakan mikrokontroler yang memberikan sinyal PWM dengan tegangan 5 V sehingga kedua motor tersebut dapat langsung dioperasikan.

4.5.3 Perancangan Kipas

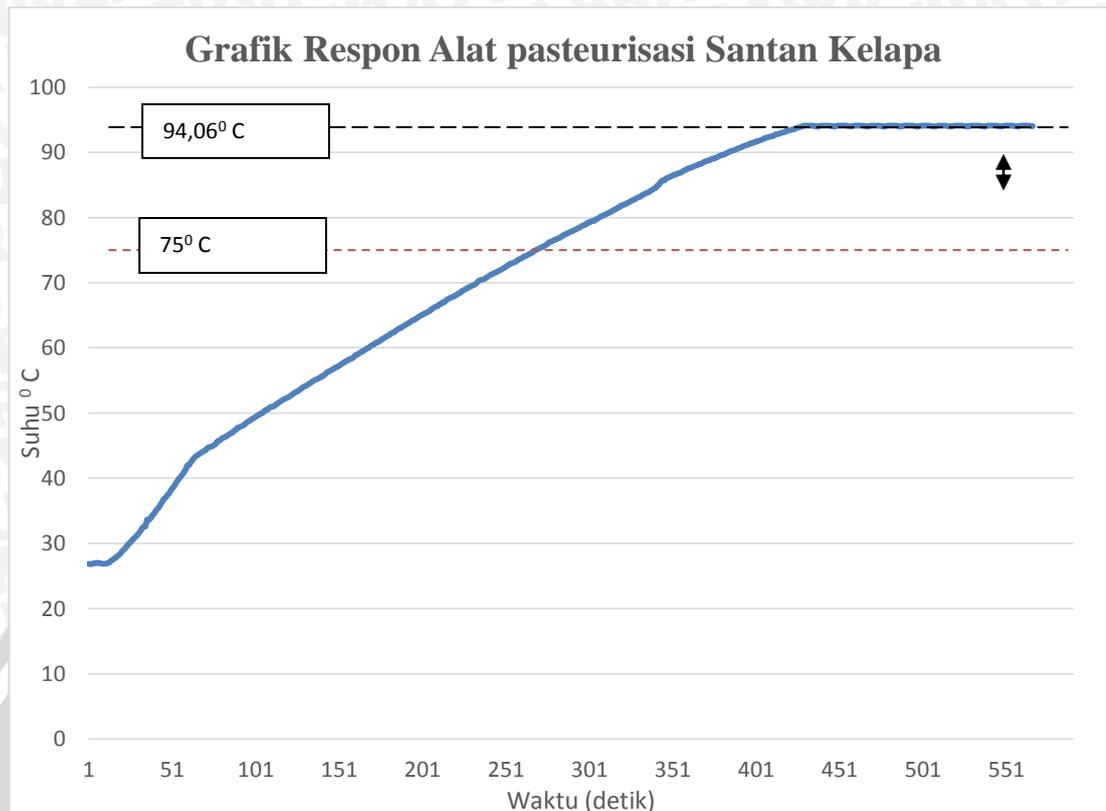
Perancangan kipas dalam skripsi ini menggunakan kipas dengan catu daya 12 V sedangkan Arduino ATmega2560 memberikan tegangan maksimal 5 V. Oleh sebab itu dibutuhkan relay 5 V to 12 V dan catu daya 220 V to 12 V.

4.5.4 Karakteristik Alat Pasteurisasi Santan Kelapa

Alat pasteurisasi santan kelapa tanpa pengendali suhu terdiri atas kompor gas portable dan tabung pasteurisasi. Kompor gas yang digunakan memiliki tabung yang dapat digunakan selama dalam kondisi api yang paling besar. Kelemahan utama kompor gas portable tersebut adalah adanya batas waktu yang digunakan tergantung jumlah kapasitas tabung. Kompor gas *portable* ini dapat digunakan selama 2 jam dalam kondisi api maksimal. Gambar 4.3 merupakan grafik karakteristik alat pasteurisasi santan kelapa. Grafik karakteristik tersebut didapat dengan memaksimalkan nyala api kompor.

Berdasarkan grafik karakteristik dalam Gambar 4.3, ketika kompor gas portable dinyalakan suhu pada tabung pasteurisasi tetap naik hingga mencapai 94,06° Celcius. Sehingga dapat diketahui bahwa beda suhu (*lagging temperature*) antara suhu yang diinginkan 75° Celcius dengan suhu yang dihasilkan sebesar 94,06° Celcius mencapai 19,06° Celcius.

Waktu yang diperlukan alat tersebut untuk mencapai suhu 75° Celcius adalah 247 detik atau 4,11 menit. Sedangkan waktu yang diperlukan alat tersebut untuk mencapai suhu *steady* (94,06° Celcius) adalah 420 detik atau 7 menit. Dengan demikian waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai *steady* dari kedudukan *set pointnya* adalah 172,8 detik.



Gambar 4.3 Grafik Respon Karakteristik Pasteurisasi Santan Kelapa

4.5.5 Perancangan Kontroler

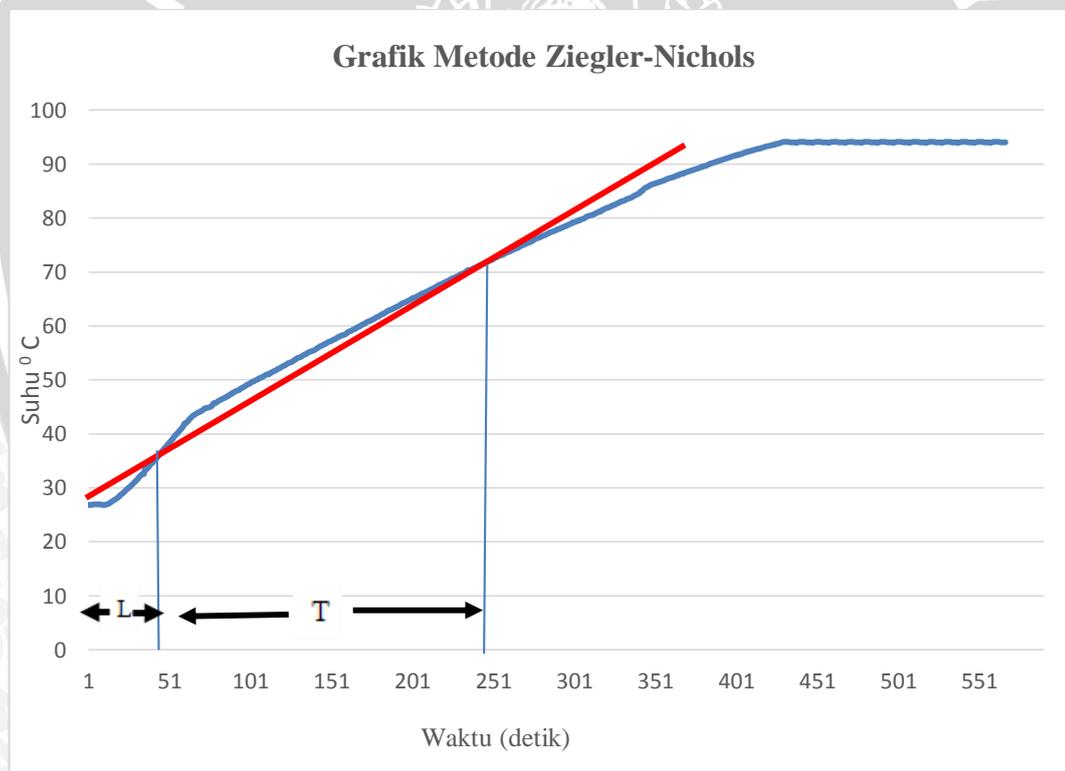
Dalam memenuhi tujuan performansi loop yang diinginkan, maka perlu ditambahkan kontroler dalam sistem. Kontrol yang dipilih adalah kontrol proporsional integral derivatif. Kontroler proporsional integral derivatif dipilih karena karakteristik *plant* tersebut membutuhkan kontrol yang cepat dengan meminimalkan *overshoot*.

Grafik karakteristik *plant* dalam Gambar 4.3 menunjukkan bahwa bentuk kurva karakteristik *plant* menyerupai huruf S (*shaped curve*) sehingga dapat digunakan *tuning* K_p , K_i , dan K_d menggunakan metode 1 Ziegler-Nichols. Langkah awal *tuning* parameter dengan metode 1 Ziegler-Nichols adalah menarik garis *tangent* pada titik infleksi grafik karakteristik *plant*. Kemudian mencari perpotongan garis *tangent* dengan garis nilai akhir, sehingga diperoleh nilai T dan L. Nilai T dan L tersebut digunakan untuk menentukan besarnya K_p , K_i , dan K_d yang tepat, sesuai dengan Tabel 4.1 aturan *tuning* metode 1 Ziegler-Nichols.

Tabel 4.1 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K, 1997)

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Penentuan nilai K_p , K_i , dan K_d ditunjukkan dalam Gambar 4.3 dengan menggunakan metode 1 Ziegler-Nichols. Berdasarkan Gambar 4.3 didapatkan nilai $T = 147$ dan nilai $L = 37$ sehingga dapat diketahui besarnya nilai $K_p = 6,81$ nilai $T_i = 74$, nilai $T_d = 18,5$, $K_i = 0,091$, dan nilai $K_d = 125,9$ dihitung berdasarkan tabel 4.1



Gambar 4.4 Metode 1 Ziegler-Nichols (Perancangan)

Perhitungan menggunakan PID pada tabel 4.1 :

$$\bullet K_p = 1,2 \frac{T}{L} = 1,2 \frac{210}{37} = 6,81$$

$$\bullet Ti = 2L = 2.37 = 74$$

$$\bullet Td = 0,5L = 0,5.37 = 18,5$$

$$\bullet Kp = Ki \times Ti$$

$$\bullet Ki = \frac{Kp}{Ti}$$

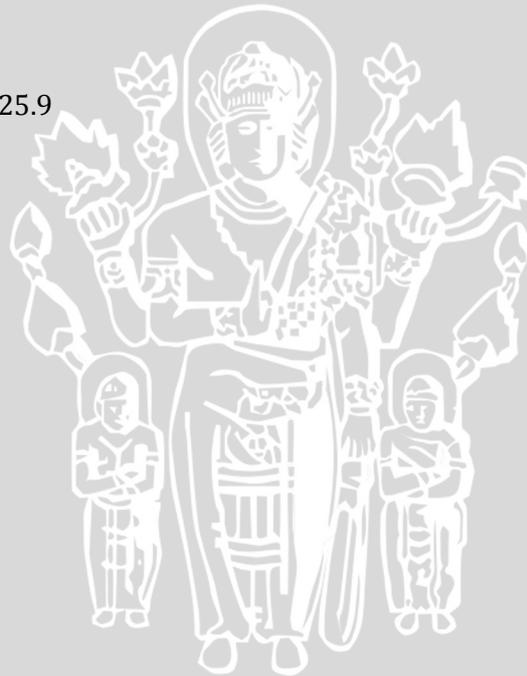
$$\bullet Ki = \frac{6,81}{74}$$

$$\bullet Ki = 0,091$$

$$\bullet Kp = \frac{Kd}{Td}$$

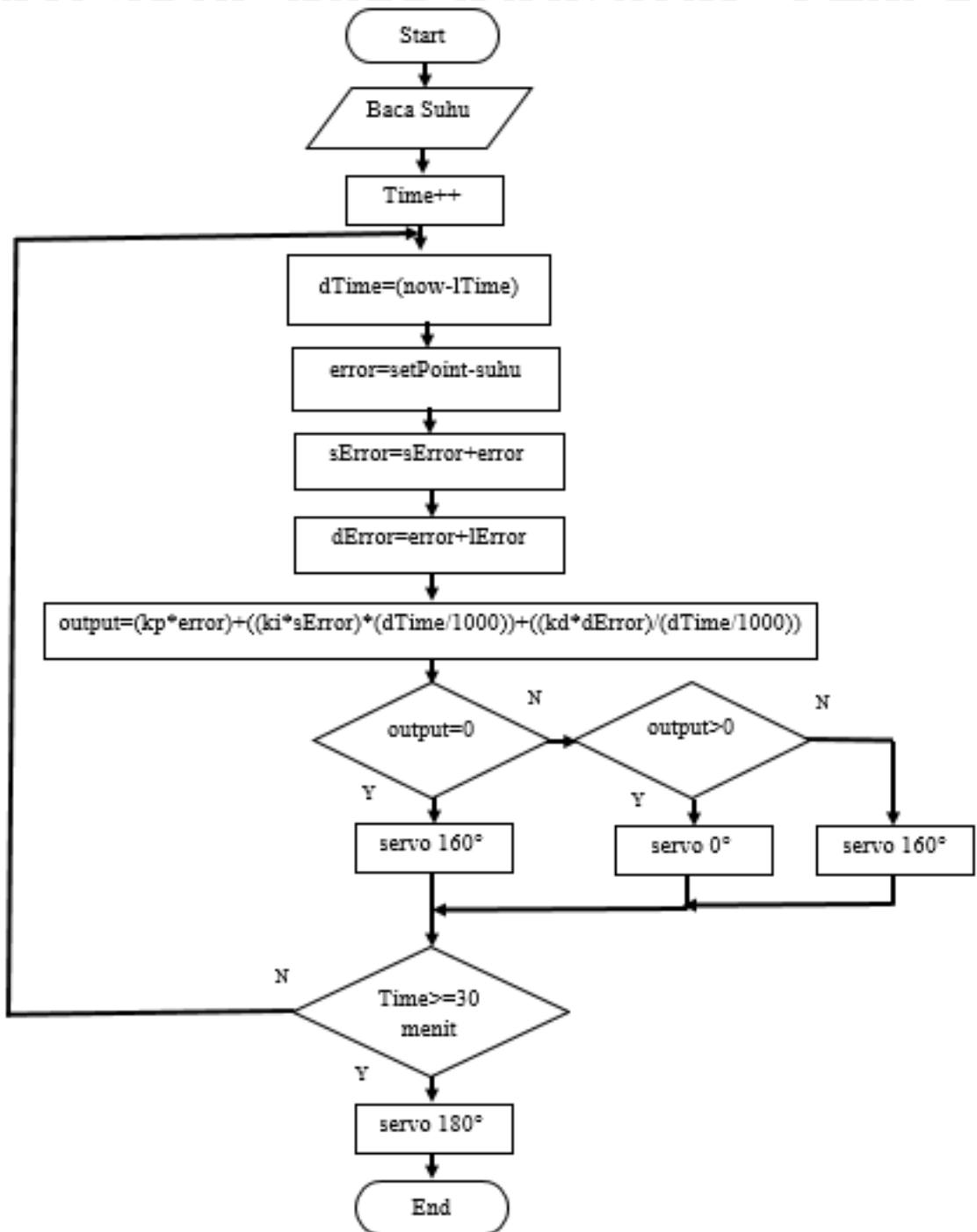
$$\bullet Kd = Kp \times Td$$

$$\bullet Kd = 6,81 \times 18.5 = 125.9$$



4.6 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak ditunjukkan dalam Gambar 4.5 .



Gambar 4.5 Diagram Alir Keseluruhan Sistem

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Tujuan pengujian sistem adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan.

5.1 Pengujian Sensor DS18B20

a. Tujuan

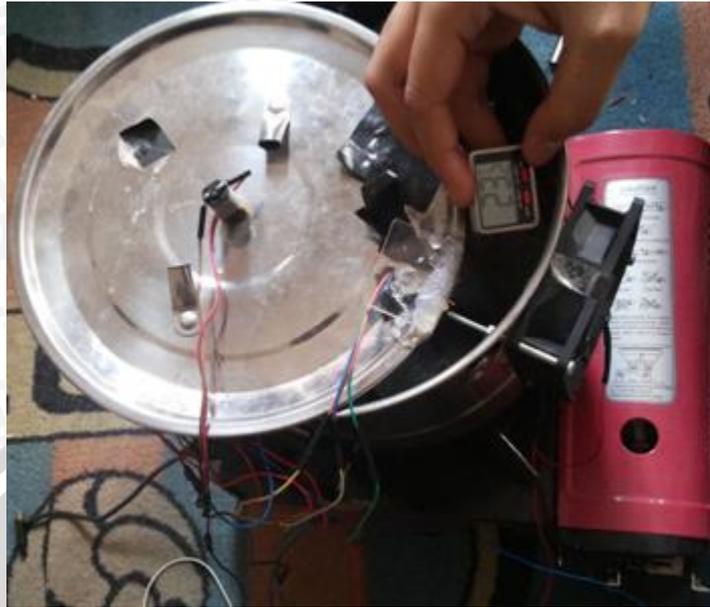
Mengetahui kemampuan pembacaan sensor DS18B20 terhadap perubahan suhu dengan melihat hasil pembacaan sensor yang ditampilkan..

b. Peralatan yang Digunakan

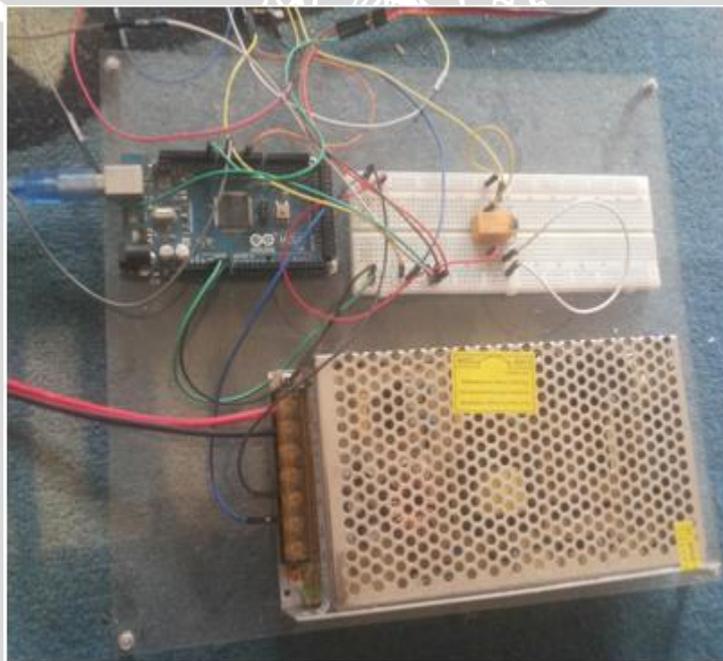
- Sensor DS18B20
- Kompor Gas Portable
- Panci
- Termometer Digital
- Air
- Komputer

c. Langkah Pengujian

1. Menyusun rangkaian seperti Gambar 5.1 dan Gambar 5.2.
2. Menghubungkan sensor dan resistor 4,7 k Ω dengan ATmega2560
3. Mengamati dan mencatat setiap perubahan suhu berdasarkan suhu termometer acuan.



Gambar 5.1 Pengujian Sensor DS18B20



Gambar 5.2 Rangkaian Pengujian Sensor DS18B20

d. Hasil Pengujian dan Analisis

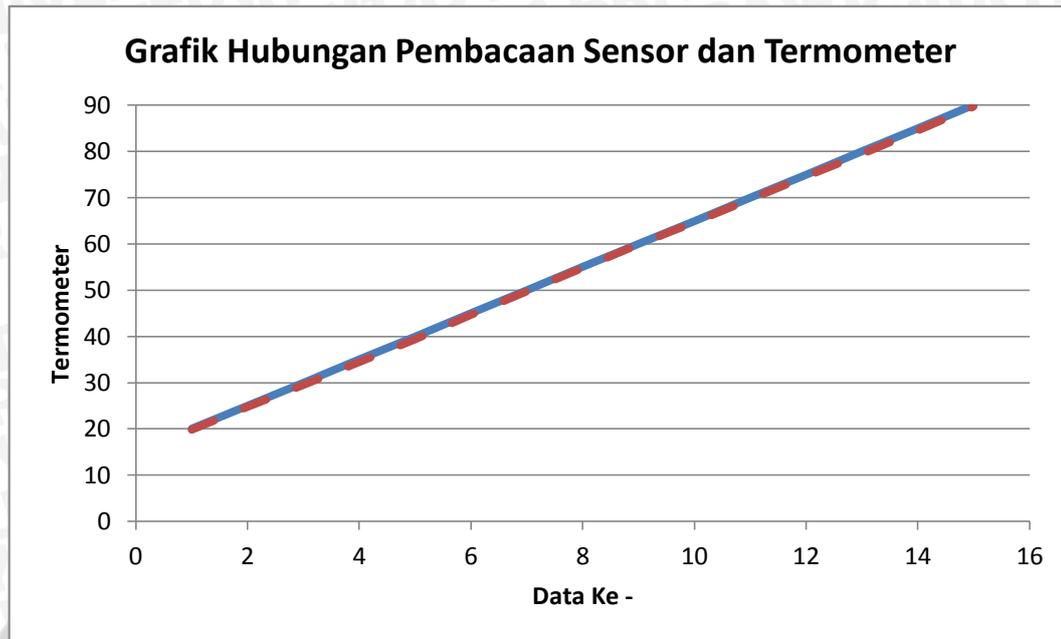
Hasil pengujian sensor DS18B20 ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Didapatkan grafik linear antara suhu sensor dengan suhu termometer.

Tabel 5.1 Perbandingan Pembacaan Suhu Sensor dengan Termometer

No.	Suhu Termometer (°C)	Suhu Pembacaan Sensor DS18B20			ERROR 1	ERROR 2	ERROR 3
		DATA 1	DATA 2	DATA 3			
1	20	19,87	19,93	19,74	0,13	0,07	0,26
2	25	24,8	24,88	24,81	0,2	0,12	0,19
3	30	28,75	29,62	30	1,25	0,38	0
4	35	34,38	34,12	34,78	0,62	0,88	0,22
5	40	39,13	39,44	39,54	0,87	0,56	0,46
6	45	44,94	44,5	44,68	0,06	0,5	0,32
7	50	49,69	49,79	49,67	0,31	0,21	0,33
8	55	54,89	54,75	54,77	0,11	0,25	0,23
9	60	59,88	59,81	59,88	0,12	0,19	0,12
10	65	64,97	64,44	64,63	0,03	0,56	0,37
11	70	69,56	69,81	69,52	0,44	0,19	0,48
12	75	74,25	74,76	74,86	0,75	0,24	0,14
13	80	79,69	79,31	79,33	0,31	0,69	0,67
14	85	84,97	84,12	84,37	0,03	0,88	0,63
15	90	89,83	89,56	89,77	0,17	0,44	0,23
Error					0,36	0,410667	0,31
Jumlah error							0,360222

Berdasarkan hasil pengujian dalam Tabel 5.1, *error* antara suhu pembacaan termometer dengan suhu pembacaan *serial monitor* adalah sekitar 0,36° C. Grafik perbandingan suhu hasil pembacaan termometer acuan dengan *serial monitor* dapat dilihat dalam Gambar 5.3. Pada grafik tersebut terlihat bahwa selisih yang timbul antara kedua pembacaan suhu cenderung membentuk garis linear.



Gambar 5.3 Grafik Hubungan Termometer dengan Sensor DS18B20

5.2 Pengujian Sinyal Kontrol Motor DC Servo

a. Tujuan

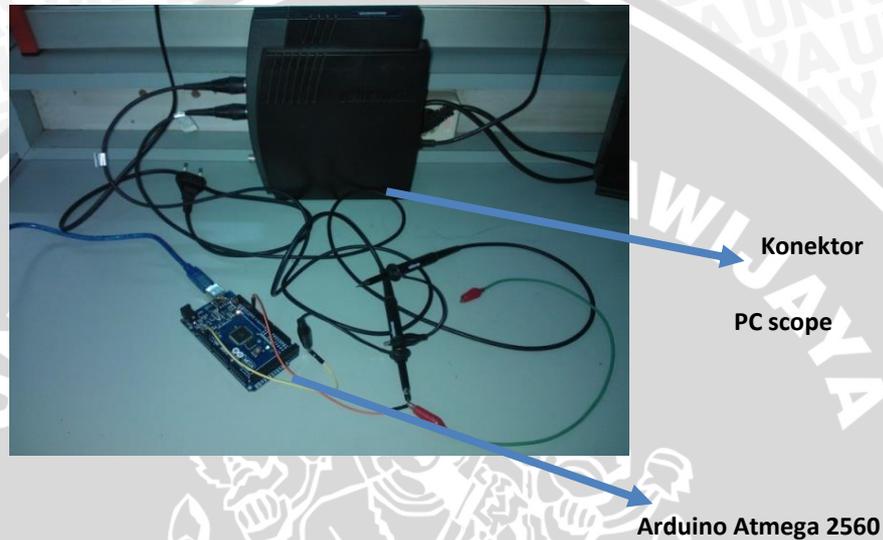
Pengujian sinyal kontrol motor DC *servo* ini bertujuan untuk melihat bagaimana bentuk sinyal saat berada pada posisi sudut yang telah ditentukan serta melihat tegangan yang dikeluarkan untuk setiap perubahan sudut motor DC *servo*.

b. Peralatan yang digunakan

- Catu Daya 5V DC.
- Arduino ATmega2560
- Komputer
- Konektor PC scope
- *Hardware* dan *software* PC Lab 2000SE.
- Program dan *software* Arduino.

c. Langkah Pengujian

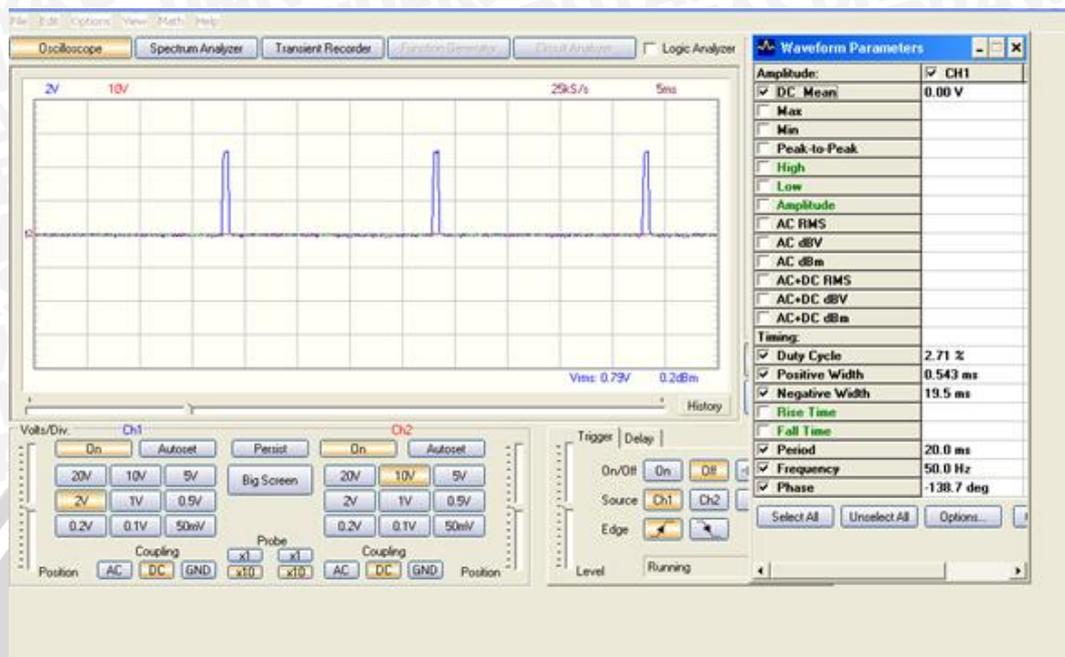
1. Merangkai peralatan seperti Gambar 5.4.
2. Mengunduh program pengatur sudut *servo* dengan sudut 0, 40, 90, 120, 180 derajat pada software Arduino ERW 1.0.5.
3. Menjalankan *software* PC Lab 2000SE.
4. Memilih mode osiloskop lalu pilih *Run* untuk menjalankan osiloskop.



Gambar 5.4 Rangkaian untuk Menguji Motor DC Servo

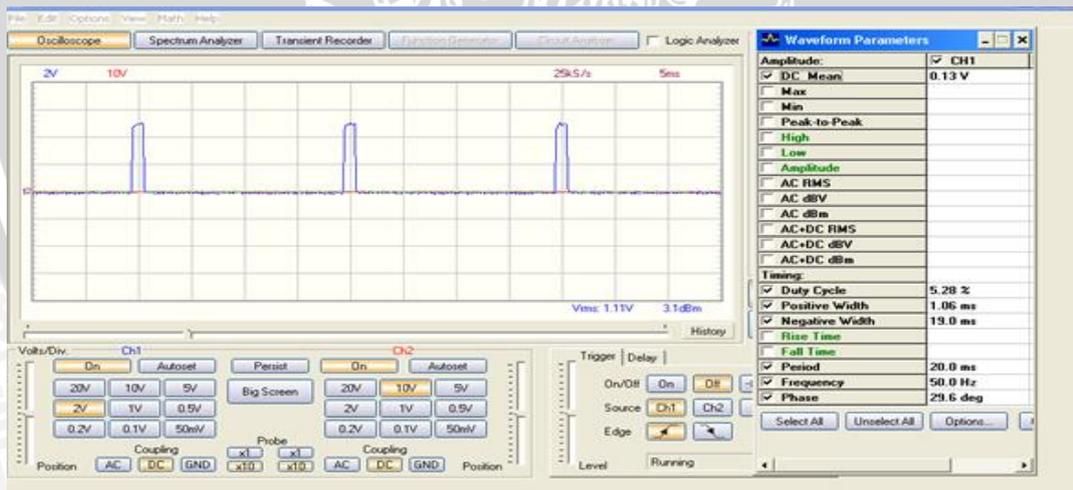
d. Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil sinyal dan tampilan parameter. Parameter yang dihasilkan adalah amplitudo, *duty cycle*, dan lebar sinyal. Proses pengujian Sinyal Kontrol Motor DC *servo* sudut 0° ditunjukkan dalam Gambar 5.5.



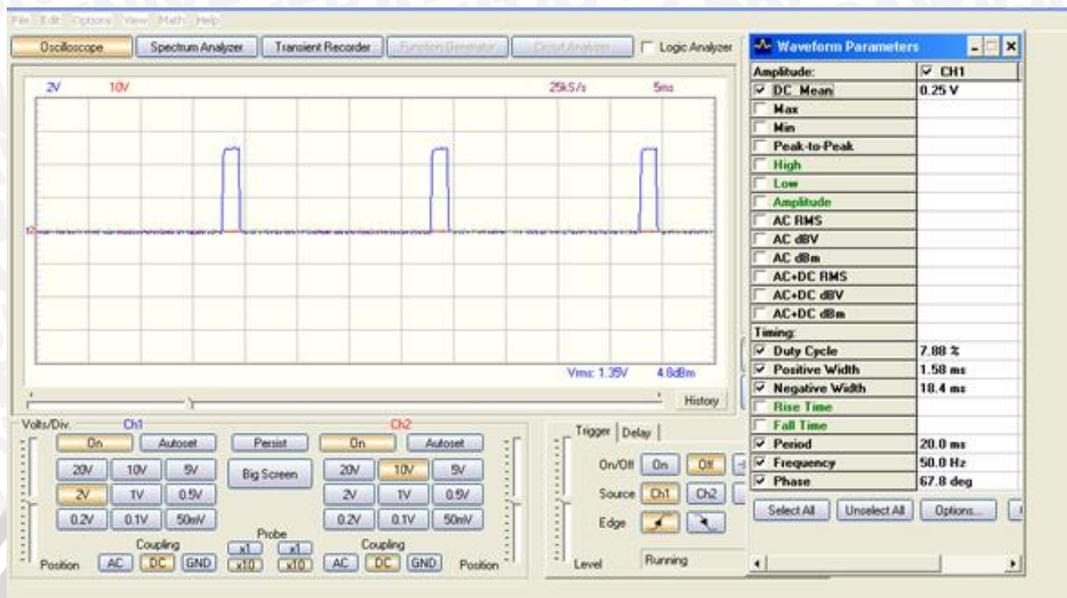
Gambar 5.5 Sinyal Kontrol dan Parameter Motor Servo Sudut 0°

Sinyal Motor *servo* pada sudut 50° ditunjukkan dalam Gambar 5.6:



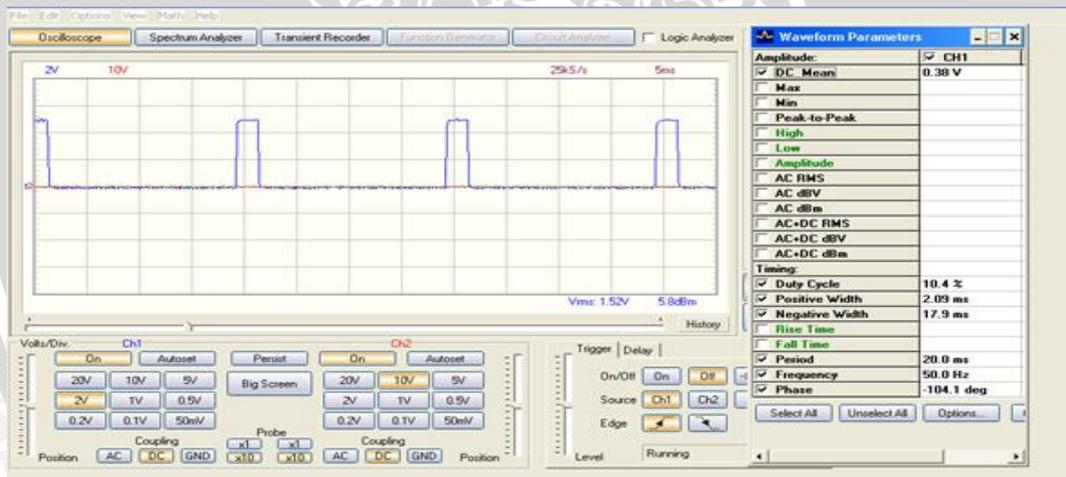
Gambar 5.6 Sinyal Kontrol dan Parameter Motor Servo Sudut 50°

Sinyal motor DC *servo* pada sudut 100° ditunjukkan dalam Gambar 5.7:



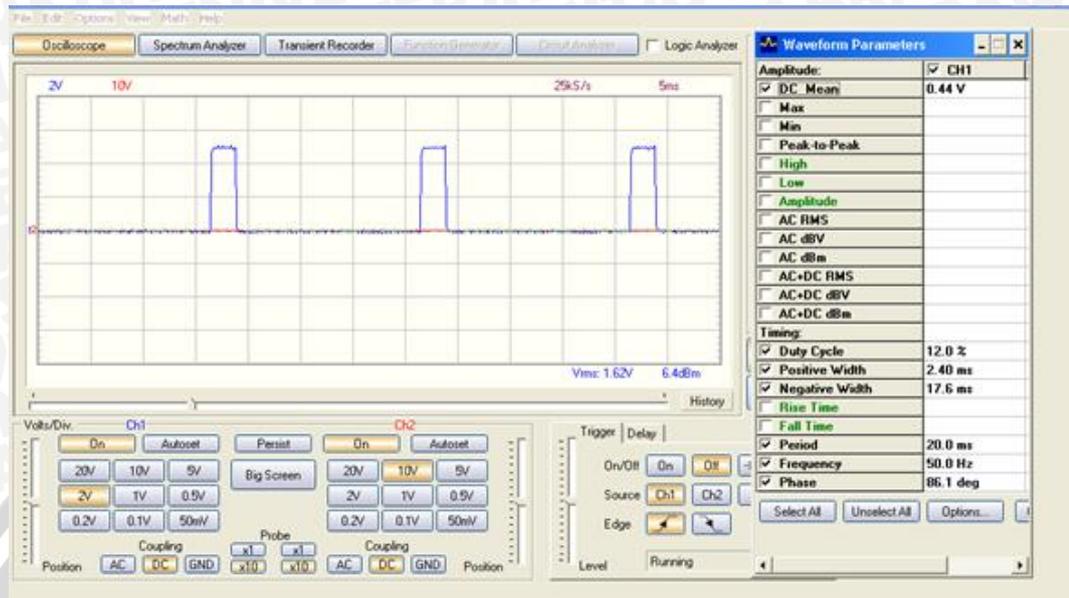
Gambar 5.7 Sinyal Kontrol dan Parameter Motor Servo Sudut 100°

Sinyal motor DC *servo* pada sudut 150° ditunjukkan dalam Gambar 5.8:



Gambar 5.8 Sinyal Kontrol dan Parameter Motor Servo Sudut 150°

Sinyal motor DC *servo* pada sudut 180° ditunjukkan dalam Gambar 5.9:



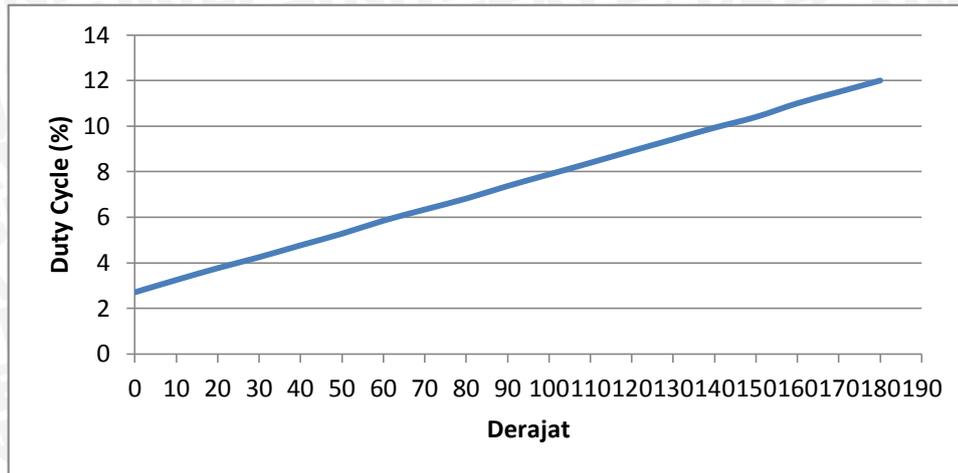
Gambar 5.9 Sinyal Kontrol dan Parameter Motor Servo Sudut 180°

Hasil pengujian *duty cycle* ditunjukkan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hubungan Sudut dengan Duty Cycle

Sudut (°C)	Duty Cycle (%)
0	2,71
10	3,25
20	3,77
30	4,25
40	4,77
50	5,28
60	5,85
70	6,34
80	6,82
90	7,37
100	7,88
110	8,39
120	8,91
130	9,42
140	9,93
150	10,4
160	11
170	11,5
180	12

Grafik *duty cycle* motor DC *servo* ditunjukkan dalam Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Grafik Hubungan Sudut dengan Duty Cycle

Dari hasil pengujian sinyal kontrol motor DC *servo* yang dilakukan, dapat dilihat bahwa semakin besar nilai derajat maka duty cycle juga akan semakin besar.

5.3 Pengujian Motor DC Servo terhadap Suhu

a. Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu terhadap perubahan pergerakan motor DC *servo*.

b. Peralatan yang Digunakan

- Motor DC *Servo*
- Panci
- Santan kelapa
- Kompor gas portable
- Program dan software arduino
- Termometer Digital

c. Langkah Pengujian

1. Menaruh panci yang udah berisi santan di atas kompor gas portable.
2. Memprogram pergerakan arduino mulai dari sudut 0°
3. Menyalakan api hingga 1 menit sambil membaca kenaikan suhu yang tertera pada termometer.
4. Ulangi seperti langkah diatas hingga sudut 160°.

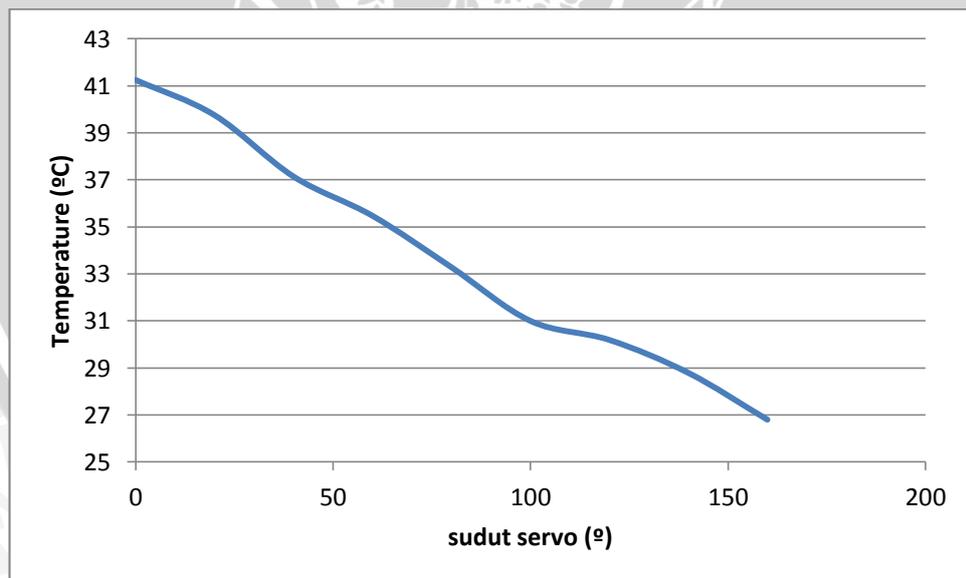
5. Mencatat kenaikan suhu dan membuat hubungan antara keduanya.
- d. Hasil Pengujian

Setelah dilakukan sesuai dengan cara diatas didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hubungan Sudut Servo dengan Kenaikan Suhu

Sudut Servo	Kenaikan Suhu dalam 1 Menit
0°	41,25°C
20°	39,75°C
40°	37,14°C
60°	35,47°C
80°	33,28°C
100°	31°C
120°	30,19°C
140°	28,79°C
160°	26,8°C

Grafik hubungan antara derajat motor servo dengan kenaikan suhu digambarkan dalam Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Hubungan Derajat Motor Servo dengan Suhu.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, dalam grafik dapat dilihat bahwa semakin kecil perubahan derajat pergerakan *servo* yang diberikan, maka kenaikan

suhu juga semakin besar dikarenakan pemasangan mekanik membutuhkan putaran *servo* yang terbalik.

5.4 Pengujian Tanpa Kontroler

a. Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perbedaan respon sistem terhadap *setpoint* ketika tanpa kontroler dengan menggunakan kontroler, sehingga dapat ditentukan bahwa sistem memerlukan sebuah sistem pengontrolan.

b. Peralatan yang Digunakan

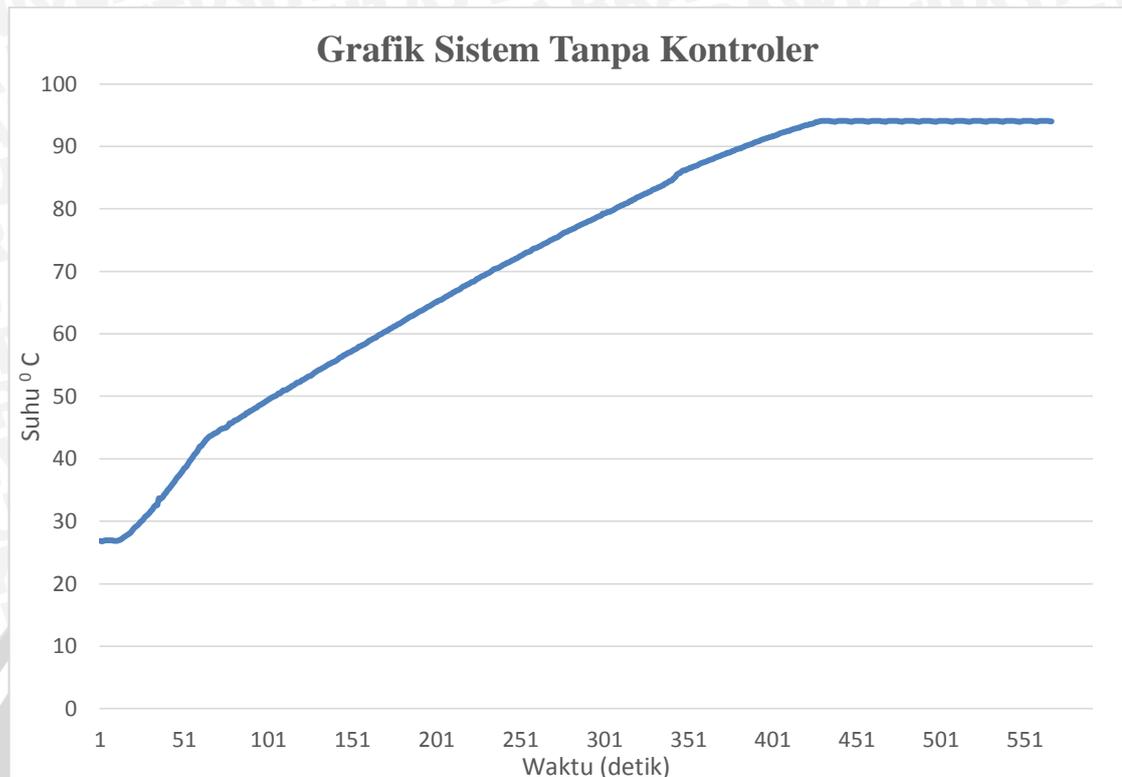
- Kompor gas portable
- Santan kelapa
- Sensor DS18B20
- Arduino ATmega2560
- Catu daya 5 V
- Program dan software arduino Atmega2560
- Komputer

c. Langkah Pengujian

1. Menyalakan *heater* pada posisi sudut yang menghasilkan suhu terbesar yaitu 0° .
2. Menampilkan keluaran nilai suhu pada serial monitor software arduino.
3. Mengamati keluaran suhu kemudian menampilkan dalam bentuk grafik terhadap waktu

d. Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon suhu tanpa kontroler. Grafik hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Respon Grafik Sistem Tanpa Kontroler

Dalam grafik gambar 5.12 sistem mengalami steady pada suhu $94,06^{\circ}\text{C}$ dan sistem tidak dapat stabil dalam waktu yang diinginkan maka diperlukan sebuah kontroler untuk menjaga kestabilan sistem dalam kurun waktu yang diinginkan.

5.5 Pengujian Keseluruhan Sistem

a. Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem secara keseluruhan dan mengamati respons kontroler yang terbaik terhadap *setpoint*.

b. Peralatan yang Digunakan

- Kompor gas portable
- Motor DC *servo*
- Arduino ATmega2560
- Santan kelapa
- Kipas 12 V, 4 unit
- Catu daya

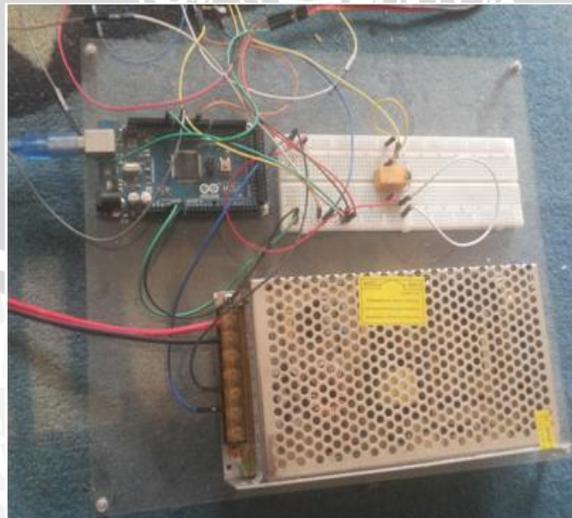
- Sensor DS18B20
- relay 5 V
- Panci
- Komputer
- Program dan software arduino ATmega2560

c. Langkah Pengujian

1. Merakit rangkaian seperti Gambar 5.13 dan Gambar 5.14.
2. Mengunduh program dengan nilai $K_p = 6,81$, nilai $K_i = 0,091$, dan nilai $K_d = 125,9$
3. Melihat hasil keluaran nilai suhu dan menjadikan grafik terhadap waktu.



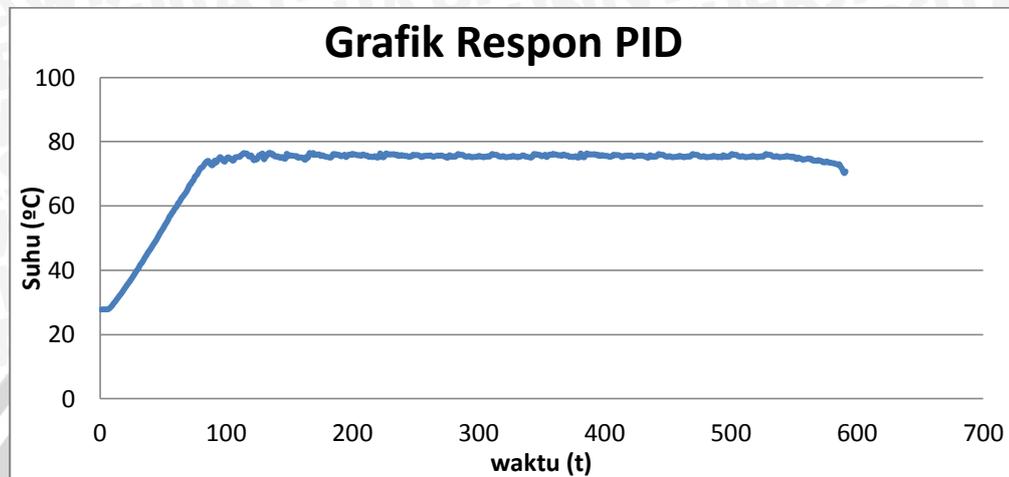
Gambar 5.13 Pengujian Keseluruhan Sistem



Gambar 5.14 Pengujian Keseluruhan Sistem

d. Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon yang terbaik dengan settling time paling kecil dan waktu untuk mencapai *steady state* paling cepat yang dapat dilihat dalam Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Grafik Respon dengan Nilai K_p, K_i , dan K_d

Berdasarkan hasil pengujian dalam Gambar 5.15 grafik respon sistem keseluruhan, diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. t_u (waktu tunda) yaitu waktu ketika suhu belum naik karena pemanas masih dalam proses pemanasan. t_u berdasarkan pengujian adalah 6 detik.
2. t_s (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. t_s berdasarkan pengujian adalah 98 detik. *Settling time* didapat ketika suhu telah mencapai $75,0^\circ \text{C}$.

5.6 Pengujian Keseluruhan Sistem dengan diberi Gangguan

a. Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem secara keseluruhan dan mengamati respons kontroler terhadap *setpoint* ketika mendapatkan gangguan berupa perubahan aliran suhu yang turun drastis.

b. Peralatan yang Digunakan

- Kompor gas *portable*
- Motor DC *servo*
- Arduino ATmega2560
- Santan kelapa
- Kipas 12V

- Catu daya
- Sensor DS18B20
- relay 5 V
- Panci
- Komputer
- Program dan software arduino ATmega2560

c. Langkah Pengujian

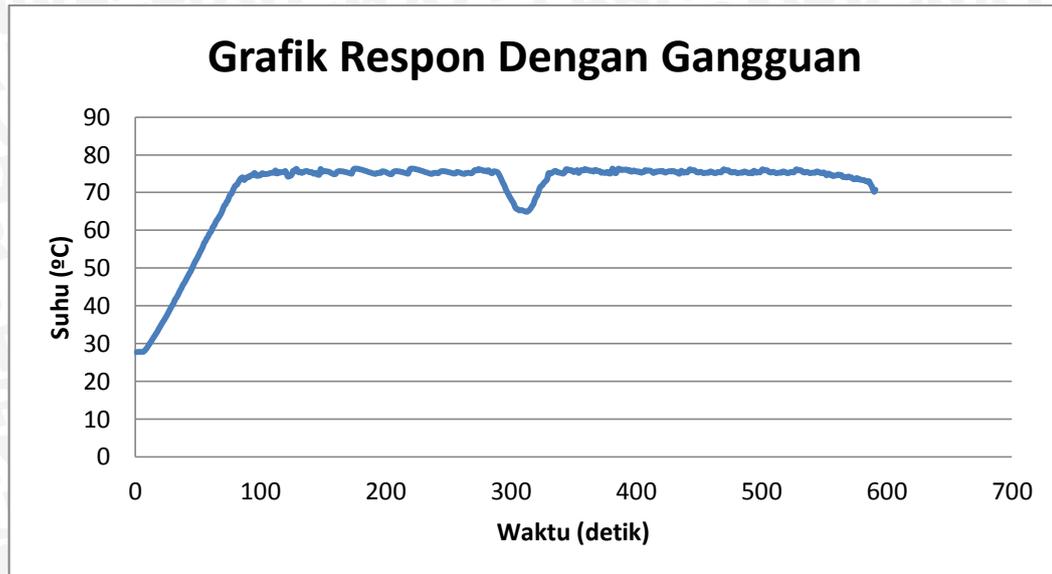
1. Merakit rangkaian seperti Gambar 5.16.
2. Menggunakan kontrol PID
3. Meletakkan panci di dalam air dingin kemudian meletakkan kembali ke kompor *portable*
4. Melihat hasil keluaran nilai suhu dan menjadikan grafik terhadap waktu.



Gambar 5.16 Grafik Respon dengan Nilai K_p , K_i , dan K_d

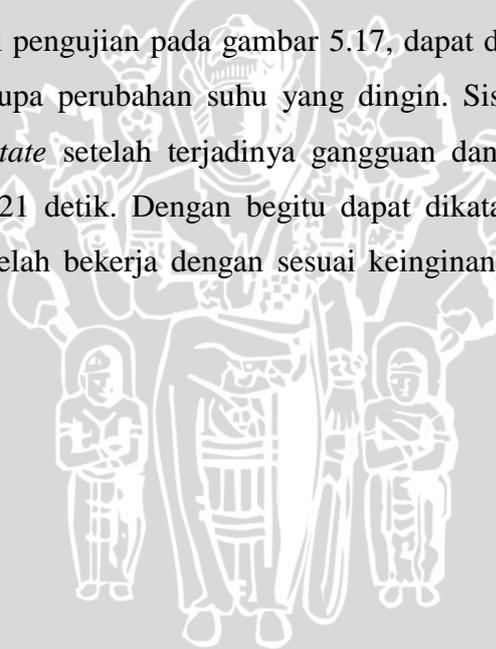
d. Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon setelah diberi gangguan yang dapat dilihat dalam Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Respon Sistem yang Telah Diberi Gangguan

Dari grafik hasil pengujian pada gambar 5.17, dapat dilihat respon sistem terhadap gangguan berupa perubahan suhu yang dingin. Sistem dapat kembali pada keadaan *steady state* setelah terjadinya gangguan dan mengalami proses *recovery time* sebesar 21 detik. Dengan begitu dapat dikatakan sistem kontrol pada perancangan ini telah bekerja dengan sesuai keinginan yaitu bekerja pada suhu 75° C.



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan respon sistem yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan metode pertama dari teori *Ziegler-Nichols*, maka parameter kontroler PID dapat ditentukan pada *plant* suhu yang mempunyai nilai $K_p = 6,81$, $K_i = 0,091$, $K_d = 125,9$ dan toleransi error sebesar 2%-5%. Setelah diimplementasikan secara langsung sistem pasteurisasi santan kelapa dapat mencapai *set point* 75°C dan *settling time* (t_s) = 98 detik.
2. Hasil pengujian dengan memberikan gangguan pada sistem menunjukkan bahwa respon dapat kembali pada keadaan *steady state* dan mengalami proses *recovery time* sebesar 21 detik.

6.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan, Pengembangan untuk memperbaiki kinerja alat lanjut disarankan untuk pengambilan data sebaiknya berada pada ruangan yang tidak terpengaruh oleh suhu lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmel.2009.*DatasheetATmega2560PA/88PA/168PA/328P*.SanJose:Atmel.
- Hagenmeier, R. 1973. Aqueous Processing of Fresh Coconut for recovery of Oil and Coconut Skim Milk. *Journal of Food Science* 38:516
- Herro, A. C. 1980. *Pasteurization*. Encyclopedia of Food Technology and Food Science Series vol. 2: 677-678.
- Kirk, R. E., O. F. Othmer. 1950. *Encyclopedia of Chemical Technology*. The Interscience Encyclopedia, inc. New York.
- L.L.W.C Yalegama. 2009. *Physico-chemical And Self Life Evaluation Of Pasteurized Coconut Milk*. University Peradeniya
- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Parallax. 2010. *Parallax Standard Servo*. California: Parallax
- Peemprasart, T , N. Chiecwan. 2005. Effect of Fat Content and Preheat Treatment on the Apparent Viscosity of Coconut Milk After Homogenization. *Journal of Food Science* 77:653-658
- Prihatini, Rini Indriani .2008. *Analisa Kecakupan Panas Pada Proses Pasteurisasi Santan*. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Seow, C.C, C. N. Gwee. 1997. *Coconut Milk : Chemistry and Technology*.
- Woodroof, J. G. 1979. *Coconuts; Production and Processing, Products*. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.